

LA NOCIÓN DE ESPACIO EN EL ESTUDIO DE FENÓMENOS MECÁNICOS,
MAGNÉTICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS

Por:

NÉSTOR DAVID VARGAS ROJAS

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

MAESTRÍA EN DOCENCIA DE LAS CIENCIAS NATURALES

BOGOTÁ D. C.

2019

LA NOCIÓN DE ESPACIO EN EL ESTUDIO DE FENÓMENOS MECÁNICOS,
MAGNÉTICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS

Por:

NÉSTOR DAVID VARGAS ROJAS

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE MAGISTER EN DOCENCIA
DE LAS CIENCIAS NATURALES

Asesores:


SANDRA SANDOVAL OSORIO

JOSÉ FRANCISCO MALAGÓN SÁNCHEZ

GRUPO DE INVESTIGACIÓN: ESTUDIOS HISTÓRICOS CRÍTICOS Y ENSEÑANZA
DE LAS CIENCIAS

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
MAESTRÍA EN DOCENCIA DE LAS CIENCIAS NATURALES
BOGOTÁ D.C.


2019

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Revolution of Education</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 20-11-2019	Página 3 de 182	

1. Información General	
Tipo de documento	Trabajo de Grado de Maestría Investigación
Acceso al documento	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
Título del documento	La noción de Espacio en el estudio de fenómenos mecánicos, magnéticos y electromagnéticos.
Autor(es)	Vargas Rojas, Néstor David.
Director	Sandoval Osorio, Sandra; Malagón Sánchez, José Francisco
Publicación	Bogotá. Universidad Pedagógica Nacional, 2019. 169 P.
Unidad Patrocinante	Universidad Pedagógica Nacional
Palabras Claves	ESPACIO; TIEMPO; CUERPO; INTERACCIÓN; CAMPO

2. Descripción
<p>La presente investigación vincula en principio un análisis histórico sobre la visión de Aristóteles, Galileo Galilei, René Descartes, Gottfried Leibniz, Immanuel Kant y Jean Piaget; a propósito de la noción de espacio. Esto contribuye a la formación del maestro y además brinda elementos conceptuales para el diseño de actividades para el aula a fin de construir comprensiones y explicaciones de fenómenos físicos, bajo la premisa que el espacio es pieza indispensable en la formalización del fenómeno. Donde las cualidades del espacio necesariamente deben ser coherentes a las explicaciones y a la experiencia del individuo; por ende se reconoce la noción de espacio como algo más que una definición; así es posible asumir el espacio se constituye como una noción que influye en la comprensión de fenómenos físicos y por ende en la enseñanza de la física.</p>

3. Fuentes

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Revolution of Education</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 20-11-2019	Página 4 de 182	

Aristóteles. (Siglo IV, traducción 1995). Física. Traducción y notas. R de Echandía, Guillermo (1995). Gredos, S.A.

Descartes. (2002). Los principios de la filosofía, traducción de Guillermo Quintas (2002). Barcelona: Alianza S.A.

Descartes, R. (s.f.). Biblioteca los grandes pensadores, Descartes, Estudio introductorio Cirilo Flórez. Madrid: Gredos.

Galilei. (1632). Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias. Traducción de Javier Sadaba (1981). Madrid: Nacional Rustica.

Galilei, G. (1610). Galileo, observador e intérprete de los cielos. Galileo Galilei, Noticiero sideral. Edición Conmemorativa del IV Centenario de la publicación de Sidereus Nuncius. Prólogo a cargo de Ramón Núñez y José Sánchez, 6-30.


Gómez Herrera, M. A., & Gómez Parra, M. M. (2006). Modelamiento geométrico de un motor de combustión interna, simulación del ciclo de Otto y representación gráfica de la transferencia de calor del sistema biela, pistón, cigüeñal. Universidad de la Salle.

Jiménez, J. (2016). Ciencia versus Religión: Un conflicto imposible en tiempos del caso Galileo. Disputatio. Philosophical Research Boletín.

Kant, I. (1928). *Crítica de la razón pura*. Madrid: Luarna.

Koyré, A. (1957). Del mundo cerrado al universo infinito. Traducción de Carlos Solís Santos (1999). España: Siglo XXI.

Kuhn, T. (1956). La revolución copernicana. La astronomía planetaria en el estudio del pensamiento occidental.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Revolución de la Educación</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 20-11-2019	Página 5 de 182	

Kuhn, T. (2005). Las Revoluciones como Cambios de la Concepción del Mundo. En S. Valencia, Panorama de las corrientes contemporáneas en historia y filosofía de las ciencias. Universidad Pedagógica Nacional.

Leibniz, G. (1710). Ensayos de Teodicea, traducción Miguel García, Mercedes Huarte (2013). España: Salamanca.

Leibniz, G. (1889). *La Monadologia*. Madrid: Plaza del progreso.

Luna Alcoba, M. (1994). La ley de continuidad en G.W. Leibniz. Sevilla: Universidad de Sevilla.

Malagón Sánchez, Francisco; Sandoval Osorio, Sandra; Ayala Manrique, María Mercedes. (2012). La actividad experimental: Construcción de fenomenologías y procesos de formalización. Praxis Filosófica Nueva serie.

Malagón, J. F. (2013). Construcción de fenomenologías y procesos de formalización. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.


Ochaita, E. (1983). La teoría de Piaget sobre el desarrollo del conocimiento espacial. Estudios de Psicología, Universidad Autónoma de Madrid.

Orozco, J. c. (1999). Síntesis de racionalidad galileana. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.

Piaget, J. (1970). Introducción a la epistemología genética 2. El pensamiento físico. Buenos Aires: Paidós, S.A.I.C.F.

Raymond, S. (1982). Física para ciencias e ingeniería Tomo 2. México: Mc. Graw Hill.

4. Contenidos


 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Revolución de la Educación</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 20-11-2019	Página 6 de 182	

El presente trabajo se ha organizado en cinco momentos particulares, el primero es el establecimiento del contexto problemático y el proceder metodológico, el segundo hace referencia al análisis histórico a propósito de la noción de espacio, el tercero es el proceso de profundización teórica del ciclo Otto ideal y los principios físicos del electromagnetismos con relación a las nociones espaciales presentes en el motor de combustión y en el motor eléctrico, el cuarto relaciona la actividad en el aula junto con sus implicaciones en la formalización de fenómenos mecánicos, magnéticos y electromagnéticos. Finalmente la quinta parte es la reflexión del maestro de acuerdo al proceso investigativo que se realizó. Estas cinco etapas corresponden a los cuatro capítulos de la investigación y a las conclusiones como se refiere a continuación. El capítulo I de la presente investigación expone el origen, inquietudes e interés particulares que surgen en torno a la noción de espacio y sus implicaciones en la enseñanza de la física, además de las formas disciplinares y metodológicos de proceder.

El capítulo II es un recorrido histórico y por ende un diálogo con los autores Aristóteles, Galileo Galilei, René Descartes, Gottfried Leibniz, Immanuel Kant y Jean Piaget, que permite identificar las cualidades del espacio como consecuencia de contextos y necesidades específicas en el campo del conocimiento, aquí se reconocen las nociones de cuerpo y movimiento como elementos transversales en la organización, comprensión y argumentación de los fenómenos físicos.

El capítulo III es un ejercicio de profundización teórica que tiene a la base dos fenómenos particulares de análisis, en principio el funcionamiento de un motor de combustión interna, haciendo énfasis en el ciclo de Otto (ideal) y cierra con la descripción de las condiciones necesarias para el funcionamiento de un modelo de motor eléctrico (solenoides), que permite dar cuenta de los principios básicos del electromagnetismo; a fin de reconocer la perspectiva particular de las nociones espaciales del maestro, que le permiten organizar y comprender los fenómenos físicos que son llevados al aula.

El capítulo IV describe una serie de actividades intencionadas que se implementan en el aula de clase y las respectivas reflexiones posterior a dicha implementación. Aquí las nociones espaciales son base fundamental en la organización y comprensión de fenómenos físicos; por lo tanto, los procesos de medición y ubicación, los elementos como la variación, el movimiento; y nociones topológicas de cercanía, lejanía y lateralidad, resultan ser inherentes en el proceso de formalización de fenómenos físicos, identificando

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <i>Revolución de la educación</i>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 20-11-2019	Página 7 de 182	


como fenómenos de análisis el sumergir un cuerpo, la atracción y repulsión con base en la configuración de los polos de un imán, el funcionamiento de un generador eléctrico y el funcionamiento de un motor eléctrico.

Finalmente, se reconocen las implicaciones que el presente trabajo constituye para el quehacer docente y por ende para los procesos de construcción de conocimiento en el campo particular de la enseñanza de la física.

5. Metodología

La metodología del presente trabajo responde a cuatro momentos particulares que son: un análisis histórico, un proceso de profundización teórica, la implementación de una serie de actividades intencionadas en el aula y el análisis de dichas actividades bajo la premisa que el espacio se constituye como una noción que influye en la comprensión de fenómenos físicos y por ende en la enseñanza de la física. En el primer momento se realiza una revisión histórica de la noción de espacio, a partir de un dialogo con los autores Aristóteles, Galileo Galilei, René Descartes, Gottfried Wilhelm Leibniz, Immanuel Kant y Jean Piaget, rastreando aquellos elementos conceptuales que están a la base de las propuesta filosóficas particulares con relación a la noción de espacio; todo esto con base en el análisis de los textos: Física de Aristóteles, Los principios de la filosofía de Descartes, de la filosofía de Descartes, Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias de Galileo Galilei, Del mundo cerrado al universo infinito de Alexandre Koyré, La Crítica de la razón pura de Kant, Ensayos de Teodicea y La Monadología de Gottfried Wilhelm Leibniz y la Introducción a la epistemología genética 2 “El pensamiento físico” de Jean Piaget.

En el segundo momento se realiza una profundización teórica de dos fenómenos particulares, uno de ellos es el funcionamiento de un motor de combustión interna y la interpretación del ciclo de Otto ideal. El segundo fenómeno que se analiza es el funcionamiento de un motor solenoide; en estas dos indagaciones se describen elementos espaciales que dan cuenta no solo de la funcionalidad de los artefactos analizados, sino de la forma en que el maestro organiza, interpreta, comprende y expone el fenómeno en función de las nociones espaciales que están de base.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Revolución de la Educación</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 20-11-2019	Página 8 de 182	


En el tercer momento propuesto en la investigación se diseñan tres grupos de actividades intencionadas que son implementadas en el aula de clase. Una de ellas relaciona las implicaciones de las nociones espaciales para la constitución de la noción de cuerpo, una segunda propone reconocer todas aquellas implicaciones espaciales requeridas para dar cuenta de los fenómenos magnéticos y por ende de la elaboración de la noción del campo magnético como una organización espacial específica; finalmente una actividad que permite reconocer las implicaciones de espacialidad en la comprensión de los fenómenos electromagnéticos y por ende la elaboración de interpretaciones que giran en torno a la noción de campo electromagnético.

En el cuarto momento se realiza un análisis reflexivo con base en las experiencias y los hallazgos que han sido posibles a partir de la implementación de las actividades intencionadas en el aula de clase.

6. Conclusiones

Haber tomado la decisión de emprender un breve viaje por la historia y dialogar con personajes como Aristóteles, Galileo Galilei, René Descartes, Gottfried Wilhelm Leibniz, Immanuel Kant y Jean Piaget permite reconocer una serie de elementos fundamentales para la enseñanza de la física en nuestro rol como docentes.


El primer elemento que cabe destacar es que la historia de las ciencias permite al maestro identificar un contexto particular en medio del cual resultan relevantes una serie de preguntas congruentes a unas necesidades que desembocan en la formulación de teorías. Dicho contexto y sus necesidades conllevan a un segundo elemento que es el proceso por medio del cual se buscan argumentar dichas teorías; surgiendo así la necesidad de experimentar, de tal forma que el experimento no es una serie de pasos a seguir sino la respuesta a unas necesidades estructurales a la base del conocimiento.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <i>Universidad de Pedagogía</i>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 20-11-2019	Página 9 de 182	

En consecuencia a lo anterior es posible afirmar que no se descubren conocimientos sino que se construyen en la medida que se da respuesta a una cadena de necesidades interminables. Por lo tanto el maestro al realizar este tipo de análisis, amplía su visión y por ende el panorama de acción, ya que reconoce que de la misma forma que en la historia no se generan preguntas al azar, mucho menos se experimenta sin sentido; en el aula (como lugar de conocimiento) sus acciones deben ser intencionadas, no tratando tal vez de llevar la historia al aula, pero si reconocer las intenciones que la ciencia a lo largo de la historia muestra, donde prima el argumento, la deducción, la explicación, la duda y sobre todo la comprensión de los fenómenos que se desean analizar. En congruencia a lo que se ha expuesto el análisis histórico necesariamente impacta la formación del maestro al sumergirlo en un campo de profundización que proporciona herramientas que apoyan sus intenciones; intenciones que se ven reflejadas en sus prácticas.

Por lo anterior el diseño de actividades intencionadas que se llevan al aula permiten reconocer que la construcción, organización y comprensión de las nociones espaciales en el estudio de los fenómenos físicos son relevantes y están a la base de cualquier argumento teórico. Como resultado la construcción de la noción de cuerpo, la noción de lo magnético y la noción de lo electromagnético, responden al reconocimiento de organizaciones espaciales específicas que orientan hacia la comprensión y explicación de eventos mecánicos, magnéticos y electromagnéticos en la enseñanza de la física.

De ahí que el aula se transforma en un lugar de reflexión en el cual indagar sobre la noción de espacio permite tanto al maestro como a los estudiantes cuestionarse en primera medida sobre sus formas de organizar y comprender los fenómenos que desean interpretar, cuestionarse sobre la forma en que pueden actuar y sus implicaciones en construcciones científicas (posibles en el aula de clase); además (esto particularmente para el maestro) cuestionarse sobre la forma en que

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Revolution of education</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 20-11-2019	Página 10 de 182	

selecciona aquello que compartirá en el aula si el fin es propiciar espacios de construcción de conocimiento.

Finalmente este trabajo ha sido herramienta fundamental para la transformación de la práctica docente; pues ha sido posible la construcción de criterios determinantes en la construcción de actividades, fortaleciendo procesos de organización y el enriquecimiento de experiencias que facilitan la comprensión de formalizaciones teóricas a propósito de la noción de espacio.

Elaborado por:	Néstor David Vargas Rojas
Revisado por:	Sandra Sandoval Osorio y José Francisco Malagón Sánchez.

Fecha de elaboración del Resumen:	20	11	2019
--	----	----	------

Contenido

Contenido	1
Capítulo I: Contexto problemático y metodológico de la investigación.	1
Introducción	1
Premisa inicial	5
Objetivo general.....	5
Objetivos específicos.....	5
Metodología.....	6
Acciones de trabajo en el aula:	7
Etapas e intención de la experiencia:.....	8
Capítulo II: La noción de espacio en el estudio de los fenómenos mecánicos, magnéticos y electromagnéticos: un análisis propuesto sobre la visión de Aristóteles, Galileo Galilei, René Descartes, Gottfried Leibniz, Immanuel Kant y Jean Piaget.....	11
El pensamiento y la acción de Aristóteles al organizar su mundo	12
La arquitectura de Galileo Galilei para asumir un nuevo mundo	19
Organización galileana	23
El Dios de Descartes: una elección entre la experiencia y la razón	26
Contexto y principios filosóficos	26
La organización del mundo creado por el Dios de Descartes	31
La identidad de los cuerpos un análisis del movimiento según la perspectiva Leibniziana	38
A propósito del por qué y el cómo suceden los eventos	46
Un análisis de la propuesta de construcción del conocimiento según Immanuel Kant y la formación del pensamiento físico desde la perspectiva de Jean Piaget.....	48
Una propuesta de organización y percepción del fenómeno según Kant	48
El pensamiento físico una actividad de formalización de la experiencia.....	52
Espacio y tiempo: Un paso, del objeto al sujeto	68
Capítulo III: Un análisis de la noción de espacio para el maestro a propósito del principio de funcionamiento de un motor de combustión interna y un motor eléctrico.....	70
Caracterización del espacio en el caso del motor de combustión interna:	71
Fase 1 de análisis: Acoplamiento sistema Vástago – Émbolo - Cilindro.....	71
Fase 2 de análisis: Dinámica del sistema a propósito de las variables macroscópicas (V, T y P)	73

Fase 3 análisis Relaciones ciclo Otto: Cilindro - Pistón - Válvulas - Masa de aire – Combustible – Bujía – Cámara de combustión.....	76
Relación de transformación de movimiento lineal a circular (sistema biela - manivela)	81
Sistema cigüeñal – repartición	83
Conclusiones en el marco de las organizaciones espaciales implícitas en la caracterización y análisis del funcionamiento del motor de combustión interna.	85
Caracterización del espacio en el caso del motor eléctrico	92
Estructura y funcionamiento del motor solenoide:	92
Conclusiones en el marco de las organizaciones espaciales implícitas en la caracterización y análisis del funcionamiento del motor eléctrico solenoide.	101
Capitulo IV: Propuesta, implementación y análisis de actividades en el estudio de tres fenómenos: El caso de las densidades, el caso de lo magnético y el caso de lo Electromagnético.....	105
Primera actividad a propósito de los cuerpos que se sumergen en un fluido.....	106
Configurando un cuerpo y la noción de densidad a propósito de los cuerpos que se sumergen en un fluido.	106
Etapa 1: Construyendo la noción de sólido y tridimensionalidad.....	107
Etapa 2 Elaboración de objetos sólidos con diferentes densidades:	109
Etapa 3 sumergiendo cuerpos en un fluido.	110
Análisis sobre la configuración de los cuerpos.....	114
Análisis general de la actividad sobre los cuerpos sumergidos en un fluido.	118
Una breve descripción conceptual de los fenómenos magnéticos a analizar.	123
El imán como un cuerpo magnético.....	123
Fenómenos electromagnéticos.....	126
Registro actividades en aula para el caso de lo magnético.....	130
Grupo 1: tridimensionalidad del campo magnético.....	130
Análisis a propósito de los fenómenos magnéticos.	138
Análisis general de la noción de espacio en los fenómenos magnéticos.....	147
Registro de actividades para el caso de lo electromagnético	149
Grupo 2 Electro imán	150
Grupo 3 Motor Eléctrico (Solenoide)	152
Grupo 4 Motor Eléctrico (Tambor).....	154
Grupo 5 Motor Eléctrico (Tambor dedos y tres puntos).....	155
Grupo 6 Generador Eléctrico	156

Algunas afirmaciones con relación al funcionamiento de los artefactos electromagnéticos (De las partes al todo).....	158
Análisis a propósito de los fenómenos electromagnéticos.....	159
Análisis general de la noción de espacio en la construcción de los motores propuestos	164
Conclusiones: Un camino por la historia, la profundización, la implementación y la reflexión del quehacer docente, a propósito de la noción de espacio.	166
Bibliografía	168

Capítulo I: Contexto problemático y metodológico de la investigación.

Introducción

Hablar de “espacio” resulta muy común en los diferentes ámbitos del desarrollo humano; desde la cotidianidad del diario vivir, hasta lo profundo y reservado de las comunidades científicas. Esto sin duda influye en la escuela, lugar de convergencia de distintos ámbitos en el que se desarrollan diferentes disciplinas que contribuyen a la formación de los estudiantes y por ende al proceso de construcción de conocimiento propio de cada individuo perteneciente a dicha comunidad y de su entorno.

Por lo anterior el presente trabajo pretende analizar la forma en que la noción de espacio resulta relevante en la construcción de organizaciones, explicaciones, comprensiones y argumentos en la formalización de fenómenos físicos; partiendo del estudio de personajes que a lo largo de la historia han aportado para la consolidación de la noción de espacio que se enseña en las aulas de clase hasta la actualidad.

Indagar en el pensamiento de autores como Aristóteles, Galileo Galilei, René Descartes, Wilhelm Leibniz, Immanuel Kant y Jean Piaget, cobra sentido en la medida que se logren identificar distintas perspectivas y formas de proceder al momento de intentar dar cuenta de fenómenos físicos de los cuales cada autor es partícipe y según su percepción propone una forma de organización particular que logra dar cuenta de aquello que genera inquietudes y por ende requiere de explicaciones concretas.

Aquí, es una necesidad reconocer el proceso histórico y filosófico que han implicado diferentes propuestas de la noción de espacio (expuestas a discusiones y juicios de validación), además de las diversas interpretaciones y modelos que se proponen desde las distintas miradas de los autores que se traen a diálogo, aceptando que estos aspectos histórico – filosóficos podrían arrojar elementos de discusión y análisis significativos para el proceso de formación del docente y por ende tener implicaciones directas en el aula de clase.

Por lo anterior es posible afirmar que la noción de espacio sin duda implica un carácter pedagógico y disciplinar (en la enseñanza de las ciencias), en la medida que cualquier construcción fenomenológica, pone en juego implícitamente tanto un lugar en el espacio como una temporalidad en el mismo; por esto, es necesario además reconocer la noción de espacio en correlación con el tiempo ya que una implica necesariamente a la otra.

Así resulta indispensable identificar la forma en que estos dos conceptos son base fundamental para la organización de cualquier fenómeno físico (de los cuales solo se mencionarán y analizarán unos particulares), pues necesariamente cada evento debe ser situado en un lugar determinado con unas características particulares que sean acordes a su desarrollo y por ende a su explicación, además este desarrollo solo es posible de analizar en la medida que se evidencie algún tipo de cambio perceptible, lo que implica una temporalidad; el antes y el después resultan por lo tanto relevantes en la construcción de explicaciones y por ende en la formalización de un fenómeno.

En consecuencia por ejemplo, si se desea analizar la forma en que se constituye la noción y configuración de un cuerpo a propósito del fenómeno de hundimiento en un fluido, será necesario reconocer las características de aquel lugar en el que se desarrolla dicho fenómeno y establecer unos instantes determinados en los cuales resulta ser evidente algún cambio en la configuración inicial del sistema que se ha organizado; por lo que las condiciones espaciales y temporales serán base para la formalización del fenómeno tratado.

De igual forma, si se desea analizar el funcionamiento de un motor de combustión (ciclo de Otto), el campo magnético, el funcionamiento de un motor eléctrico o de un generador de corriente (casos particulares de análisis para el presente trabajo), son las configuraciones espaciales y los cambios implícitos a una temporalidad, la base; de tal forma que partiendo de la experiencia se generen organizaciones y generalizaciones como modos de construcción de formalizaciones de fenómenos mecánicos, magnéticos y electromagnéticos, de los cuales se deriva la construcción y formalización de nociones como velocidad, aceleración, posición, vacío, infinito, acordes a las presentadas del análisis que se propone con el diálogo realizado con los distintos autores que se han mencionado.

En estos términos y a propósito del interés que se establece por la enseñanza de las ciencias, resulta indispensable, además interesante, indagar sobre el recorrido y las implicaciones (históricas, sociales y culturales) que trae consigo el establecimiento de dichas nociones; de tal forma que el análisis de las nociones de espacio y tiempo a partir de las propuestas de los autores que se traen a diálogo (personajes representativos e influyentes tanto en la ciencia como en el campo de las teorías del aprendizaje) permitan rescatar elementos de discusión como lo son la idea de vacío, infinitud, la continuidad, materialidad, posición, etc., como herramientas que posibiliten diálogos, construcción de argumentos y la formalización de fenómenos en el aula de clase.

Así desde la constitución de los cuerpos que se desean analizar con relación a un fenómeno, hasta el análisis de las variaciones espaciotemporales que implican la velocidad y aceleración de dichos cuerpos, resulte de argumentos propuestos por los estudiantes. Por lo tanto cuando el estudiante hable de la ubicación en el espacio contemple la posibilidad de una organización espacial real de su entorno, pero además una organización abstracta de la realidad como necesidad para la formalización de un fenómeno. Dentro de estas generalizaciones es posible traer a colación ideas como el vacío y la infinitud de ser necesarias dentro de las organizaciones formales del fenómeno.

Esto deja de lado la obviedad que presupone la noción de espacio, tanto en las aulas de clase, como en los diferentes medios de difusión de información científica (Libros de texto, internet, revistas, entre otros) donde mediante proposiciones mencionan una posición en el espacio, una dirección en el espacio, un espacio contenido, espacio externo, regiones del espacio, movimientos a través del espacio, magnitud del espacio, etc., dejando de lado el análisis de la estructura del espacio como una condición necesaria para la formulación de explicaciones y formalizaciones de los fenómenos físicos.

Sin embargo esto expone la noción de espacio como estructural y base fundamental de las teorías físicas propuestas hasta la actualidad; cumpliendo así el papel de formalismos de interpretación y además una organización “apropiada” que permite dar explicación a fenómenos particulares (mecánicos, eléctricos y magnéticos) que se asocian a esta; donde se da un uso del espacio, se da cuenta de una percepción del espacio, de una producción de espacio, de un espacio personal, de escalas espaciales, de cerramiento espacial como formas

de configurar sistemas de análisis, etc., así el espacio requiere de una significación e interpretación ya que de forma implícita es un agente teórico estructural que tiene un uso determinado de acuerdo a eventos o situaciones particulares propias de la enseñanza de la física.

Por lo tanto, si se reconoce el espacio como un agente estructural para la construcción y formalización de fenómenos, surge la necesidad de articular en principio la noción de espacio con las acciones asociadas al mismo, de tal forma que resulte ser un elemento favorable, ya que deja por sentada una organización de estos eventos (no siendo esta la única) y abre la posibilidad de indagar sobre formas diferentes de organización (que no establecen verdades absolutas) e interpretación y aun el establecimiento de organizaciones particulares propuestas por los estudiantes; esto como consecuencia de las experiencias que se posibiliten en el aula, las discusiones que estas generen y las representaciones que surjan.

De acuerdo con lo anterior podemos reconocer que por lo general cuando asociamos la noción espacio, no tenemos claridades frente a las cualidades que se le atribuye al espacio en el análisis y formalización de algún fenómeno particular. En esta medida el presente trabajo propone el reconocimiento de diferentes interpretaciones y por ende formalizaciones de esta noción; que desde la filosofía, en algunos casos lograron relacionar las dinámicas del entorno (percepción de eventos) bajo razonamientos que permiten determinar ese sitio en el cual suceden todos los eventos (espacio) no como aislado sino como parte del mismo; en otros casos, se dio prioridad a la razón sobre las sensaciones, bajo la idea de perfección del conocimiento y en otras se preocupa por develar la forma en que el sujeto va construyendo la noción en medio de su actividad; pero que en cada una de ellas se vincula un accionar humano, una racionalidad implícita en las interpretaciones con relación al entorno, pero sobre todo en las diferentes formas de comunicarlas. Siendo la racionalidad, las interpretaciones, las relaciones y la comunicación, acciones que resultan indispensables en las aulas de clase.

Por lo tanto el accionar humano en el que se hace énfasis, que parte de la experiencia sensorial y trasciende al plano de la lógica y la formalización mediante abstracciones y generalizaciones que demandan de un análisis desde la construcción de argumentos, comprensiones y explicaciones; resulta ser una herramienta para el maestro, que le permite

proporcionar experiencias a los estudiantes, en las que estos signifiquen la noción de espacio y por ende la formalización de fenómenos particulares.

Esto es posible ya que los estudiantes en su cotidianidad manejan nociones de movimiento y organizaciones espaciales (relaciones entre objetos) de forma frecuente. En este sentido las discusiones sobre la noción de espacio resultan interesantes y además importantes para la construcción de fenomenologías que se articulan con cuestiones de los presupuestos de la estructura del espacio y las relaciones que permiten dicha estructuración.

Premisa inicial

En consonancia con las anteriores afirmaciones, se parte del espacio como pieza indispensable en la formalización de los fenómenos físicos; donde cualidades de este (como la materialidad, vacío, la continuidad y la extensión) están en concordancia a la vez que se configuran en los procesos de construcción de explicaciones y reconocimiento de la experiencia del individuo; por ende se reconoce la noción de espacio como algo más que una definición. Así es posible afirmar que el espacio se constituye como una noción que influye en la comprensión de fenómenos físicos y por ende en la enseñanza de la física. Para desarrollar esta idea se propone la siguiente ruta metodológica.

Objetivo general

Construir criterios para la construcción de actividades que permitan la organización de experiencias y la comprensión de formalizaciones teóricas con base en la noción de espacio.

Objetivos específicos

- Realizar una revisión histórica de la noción de espacio propuesta por los autores Aristóteles, Galileo Galilei, René Descartes, Gottfried Wilhelm Leibniz, Immanuel Kant y Jean Piaget que contribuya en la formación del maestro, brindando elementos conceptuales para el diseño de actividades, en función de las comprensiones y explicaciones de los fenómenos mecánicos, magnéticos y electromagnéticos.
- Diseñar, implementar y analizar tres conjuntos de actividades distintas que asocian por una parte la noción de densidad, por otra parte los fenómenos magnéticos y por

otra parte los fenómenos electromagnéticos implícitos en la construcción de artefactos (Electroimán, motor eléctrico y generador eléctrico), para analizar la construcción de la noción de espacio como elemento indispensable en la comprensión y explicación de eventos mecánicos, magnéticos y electromagnéticos en la enseñanza de la física.

- Proponer un escenario de reflexión, en el cual sea posible cuestionar la forma de selección y difusión de conocimiento en el aula de clase, a propósito de la noción de espacio como elemento estructural en la enseñanza de la física.

Metodología

Es así que la metodología propuesta para el presente trabajo tendrá tres momentos importantes. El primero de ellos será el dialogo con los autores Aristóteles, Galileo Galilei, René Descartes, Gottfried Leibniz, Immanuel Kant y Jean Piaget, mediante el análisis de los textos “La física de Aristóteles”, “Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias”, “René Descartes los principios de la filosofía”, “Descartes Estudio Introductorio”, “La Monadología Opúsculos”, “La Ley de Continuidad en G. W. Leibniz” ,”Teodicea: Ensayos sobre la bondad de Dios, la libertad del hombre y el origen del mal”. En estos textos se rastrean las diferentes formas que proponen los autores al organizar fenómenos con base en la noción de *espacio*, siendo importante el reconocimiento de dos tipos de preguntas con relación a la organización de los fenómenos; el cómo y el por qué suceden las cosas.

Dentro de este primer momento además se entra en dialogo con los autores Immanuel Kant y Jean Piaget; mediante el análisis de los textos “Critica de la razón pura” y “El pensamiento físico” centrados en el análisis que los autores proponen sobre las formas en que el sujeto construye conocimiento y como se formaliza la noción de espacio como base para el análisis y la comprensión de los fenómenos físicos.

En un segundo momento se articula el análisis histórico realizado con una propuesta de análisis conceptual, este consiste en la profundización teórica mediante el análisis del funcionamiento del motor de combustión interna (ciclo Otto ideal) y el funcionamiento de un motor eléctrico (solenoides); este momento permite al docente adoptar una postura frente

a las organizaciones de los fenómenos físicos asociados, mediante el reconocimiento del espacio como elemento que permite estructurar los fenómenos físicos.

Finalmente un tercer momento posibilita una articulación entre el diálogo establecido con los autores y un accionar en el aula a propósito de las nociones espaciales como elementos estructurales en la organización de los fenómenos físicos mediante tres conjuntos de actividades intencionadas que vinculan la organización de fenómenos mecánicos, magnéticos y electromagnéticos. Estas actividades proponen situaciones problema en las cuales el estudiante analice y proponga soluciones con base en su propia experiencia. Estas actividades se especifican en los siguientes apartados titulados “acciones de trabajo en aula” y “etapas de intervención”.

Acciones de trabajo en el aula:

Para el caso de 10° los estudiantes organizan grupos de trabajo de máximo 4 personas, para el caso de 11° los grupos son de máximo 4 personas excepto los grupos que trabajarán el enunciado “tridimensionalidad del campo magnético” puesto que deben trabajar un mayor número de experiencias además de la construcción del levitrón. Todas las actividades se realizarán en grupos de acuerdo a la elección inicial de los estudiantes, sin embargo se hace necesario que tanto las consultas, como las discusiones que se dan en el aula queden registradas en los cuadernos de cada estudiante del grupo.

La actividad grupal tiene como fin el contraste de ideas y argumentos, a fin de que se generen discusiones que lleven a acuerdos que permitan sustentar cada una de las experiencias que se propongan en el aula. Cada grupo tiene una asesoría personalizada con el docente; esta no corresponde a todas las clases (según cronograma propuesto por el docente). En estas asesorías el docente discute, pregunta, cuestiona y por lo general desestabiliza, pero no da respuestas o verdades. Posterior a las asesorías, se dan momentos de sustentación de hallazgos frente al grupo en general; a fin de que cada uno de los elementos que sean expuestos sirva de herramienta para grupos posteriores (esto responde a la secuencia intencionada de las actividades).

Para el grado decimo inicia el trabajo identificando y caracterizando sólidos geométricos, posteriormente se elaboran una serie de “cuerpos” y finalmente se analiza la interacción entre los mismos para llegar a la noción de cuerpo como organización espacial específica. Para el caso de los estudiantes de grado once en el grupo 1 se parte de un enunciado que hay que defender (tridimensionalidad del campo magnético) proponiendo distintas actividades que permitan dar cuenta de dicho enunciado o en algún caso desvirtuarlo, para los demás grupos (2, 3, 4, 5 y 6) de cada curso, se propone la construcción y explicación de un artefacto electromagnético (electroimán, motor eléctrico o generador eléctrico); todo lo anterior converge en la construcción de la noción de campo magnético y electromagnético como una organización determinada del entorno de cuerpos magnéticos coherente a las experiencias observadas en cada uno de los momentos.

Etapas e intención de la experiencia:

Trabajo en el aula 10°		
Etapas	Intención	Actividad
Construyendo la noción de sólido y tridimensionalidad	La primera etapa está dirigida al reconocimiento de las formas geométricas (sólidas), su composición y características generales; aquí se pretende establecer una diferenciación entre las formas geométricas sólidas y las figuras geométricas planas, además de reconocer la dimensión de los objetos como una generalidad que los agrupa. De tal forma que hablar de longitud, superficie y volumen, corresponda a una, dos y tres dimensiones que se asocian a una región en el espacio.	Caracterización y clasificación de sólidos geométricos.
Elaboración de objetos sólidos con diferentes densidades:	La segunda etapa inicia con la elaboración de cuerpos sólidos (formas geométricas) variando la composición a fin de que las densidades sean distintas, pero manteniendo un mismo volumen. Aquí es importante establecer la idea de límite, vecindad y región; de tal manera que sea visible la posibilidad de asignar una región	Para esta actividad se proponen tres momentos particulares. El primero comprende el diseño y elaboración de los cilindros sólidos respetando las dimensiones que se proponen inicialmente, el segundo comprende el establecimiento de las posibles variables que se pueden relacionar y la

	en el espacio a un objeto, pero además que se pueda reconocer la posibilidad de abstraer el objeto a fin de analizarlo.	delimitación del peso y el volumen como parámetros que me permitirán hablar de densidad de los distintos cuerpos y el tercero comprende el análisis de la región del espacio que se puede asociar a cada uno de los cuerpos, las posibles abstracciones de los cuerpos y las representaciones que surgen en torno a ese lugar que se deriva de la densidad como un conjunto organizado de relaciones.
sumergiendo cuerpos en un fluido	Afianzar las organizaciones que los estudiantes han construido en torno a la noción de densidad, aquí se desea argumentar que la relación entre las densidades de un cuerpo sumergido y el medio en el que se sumerge es consecuencia de que dicho cuerpo permanezca hundido	La actividad consistirá en sumergir diferentes cuerpos en algunos fluidos en donde siempre sea posible sumergirlos y registrar cada uno de los cambios que se evidencia, marcar patrones y regularidades.

Trabajo en el aula 11°		
Etapas	Intención	Actividad
Tridimensionalidad del campo magnético	Reconocer la forma en que se configura el espacio circundante de los cuerpos magnéticos y la forma en que pueden interactuar algunos cuerpos con dichas configuraciones.	<ul style="list-style-type: none"> • Clasificación de materiales • Espectro magnético “imán de barra” • Espectro magnético “imán de herradura” • Acción entre imanes enfrentando polos opuestos (atracción) • Acción entre imanes enfrentando polos iguales (repulsión) • Una configuración adicional (intensidad de campo dependiendo el tamaño del imán) • Atrayendo agujas en todas las direcciones • Erizo magnético • Construcción del levitrón
Generación de campos magnéticos a partir de la	Reconocer la posibilidad de generar campos magnéticos a	Construcción y explicación del funcionamiento de tres

circulación de corriente para el caso del Electro imán	partir de organizaciones e interacciones entre la corriente y cuerpos que no tienen propiedades magnéticas o ferromagnéticas; además reconocer que estos elementos no generan campos magnéticos permanentes sin embargo este campo corresponde a una organización espacial específica en el entorno.	electroimanes empleando calibres diferentes de alambre.
Generación de campos magnéticos a partir de la circulación de corriente para el caso del Motor Eléctrico (Solenoides).	Explicar cómo funciona este tipo de motor y dar cuenta de la organización espacial al interior de la bobina (solenoides) que genera un efecto que se asimila a una “succión” hacia el interior de la bobina del elemento ferromagnético (Puntilla),	Construcción y explicación del funcionamiento de un motor solenoide.
Generación de campos magnéticos a partir de la circulación de corriente para el caso del Motor Eléctrico (Tambor).	Organizar una idea de los distintos campos magnéticos que se generan por los imanes (permanentes y temporales) como una disposición espacial particular, además reconocer que el funcionamiento del motor depende de la variación en estas disposiciones y que en conjunto se podría afirmar que el motor en funcionamiento constituye toda una disposición espacial particular.	Construcción y explicación del funcionamiento de un motor de tambor.
Generación de campos magnéticos a partir de la circulación de corriente para el caso del Motor Eléctrico (Tambor dedos y tres puntos).	Organizar una idea de los distintos campos magnéticos que se generan por los imanes (permanentes y temporales) como una disposición espacial particular, además reconocer que el funcionamiento del motor depende de la variación en estas disposiciones y que en conjunto se podría afirmar que el motor en funcionamiento constituye toda una disposición espacial particular.	Construcción y explicación del funcionamiento de un motor de tambor de dos y tres puntos.
Generación de corrientes eléctricas sobre un conductor a partir de la variación del campo	Construir una idea propia de la variación del campo magnético de imanes estáticos con referencia a un marco de referencia; además	Construcción y explicación del funcionamiento de un generador eléctrico.

<p>magnético para el caso del Generador Eléctrico.</p>	<p>reconocer las perturbaciones de la organización espacial dispuesta por el imán en su entorno al interactuar con un solenoide en movimiento y construir la explicación de una consecuencia de tal interacción como lo es la generación de electricidad y la transformación de energía mecánica a eléctrica como producto de la variación de un campo magnético.</p>	
--	---	--

Capítulo II: La noción de espacio en el estudio de los fenómenos mecánicos, magnéticos y electromagnéticos: un análisis propuesto sobre la visión de Aristóteles, Galileo Galilei, René Descartes, Gottfried Leibniz, Immanuel Kant y Jean Piaget.

El presente capítulo propone un análisis de las propuestas teóricas en el campo de la física según Aristóteles, Galileo Galilei, René Descartes y Gottfried Leibniz; además la distinción

de dos tipos de preguntas que desde la antigüedad comunidades particulares han intentado responder en el marco de lo que hoy denominamos fenómenos físicos ¿por qué suceden? y ¿Cómo suceden? el capítulo cierra con un análisis sobre algunas relaciones que dan cuenta de la forma en que los sujetos construyen conocimiento con relación a la organización y comprensión de los fenómenos físicos según las visiones de Kant y Piaget.

Estos cuestionamientos han orientado diversas perspectivas filosóficas y propuestas teóricas que se retoman en el presente capítulo, no pensando en la validez o no de alguno de los cuestionamientos; por el contrario destacar cómo históricamente se hacen necesarias y desencadenantes a la hora de intentar establecer organizaciones, que permiten la comprensión del mundo del cual hacemos parte.

En este análisis histórico se incluye la perspectiva de los dos mundos propuesta por Aristóteles; la relación entre el mundo de la experiencia y las abstracciones matemáticas propuestas por Galileo Galilei; indagaciones sobre un método de conocimiento formal establecido por Rene Descartes y los principios filosóficos de la constitución del mundo propuestos por Gottfried Leibniz.

Lo anterior en el marco de las discusiones que surgen en torno a la organización del mundo, la constitución del espacio como elemento estructural de cualquier organización teórica, el tiempo, la materia, el movimiento (eventos mecánicos) y la velocidad; como preámbulo de un aspecto que desde estas perspectivas se desconoce y que además es relevante en la actividad docente como lo es “el proceso de formación del conocimiento físico en los individuos”.

El pensamiento y la acción de Aristóteles al organizar su mundo

Para iniciar es necesario reconocer que no a toda la humanidad le ha preocupado la forma en que el universo se origina o se constituye, por ende tampoco ha sido un cuestionamiento general de la humanidad el ¿por qué sucede lo que percibimos con nuestros sentidos? Este reconocimiento permite destacar personajes como Aristóteles que desde la antigüedad han dejado un precedente con relación al anterior cuestionamiento y tal precedente ha permeado múltiples establecimientos teóricos hasta la actualidad.

Aristóteles propone en principio destacar dos tipos de eventos en el marco de dos mundos posibles; en primera medida los eventos que se dan en el marco celeste (supra lunar) que en palabras más coloquiales son los eventos que se evidenciarían posterior a la esfera que describe el movimiento lunar; estos eventos son caracterizados por la perfección, la regularidad y la inmutabilidad. En este mundo propuesto por Aristóteles no hay mayor grado de incertidumbre ya que es, ha sido y será siempre el mismo, nada lo puede perturbar aun cuando el sí perturbe un segundo mundo.

Este segundo mundo propuesto por Aristóteles está ubicado en la esfera inferior descrita por la luna (sub lunar), aquí reina la imperfección (corrupción), nada permanece igual y por ende hay múltiples eventos que indagar; desde la constitución de la naturaleza (materia), hasta las distintas dinámicas en las que se evidencian cambios (movimiento). Aristóteles se preocupa por dar la explicación más general posible, él quiere además de indagar establecer el porqué de todo lo que sucedía a su alrededor; una explicación para todo que enmarca en sus tres principios fundamentales (dos opuestos y la sustancia) y cuatro causas (constitutivo interno, forma o modelo, principio primero y el fin) por medio de los cuales es posible explicar cualquier movimiento (cambio) en la naturaleza del mundo corruptible.

En estos términos hablar del mundo terrestre presupone una serie de principios polémicos en la antigüedad para los físicos, puesto que asumir un solo principio que rigiera todo lo que acontece proponía un problema, o por el contrario infinitos principios ampliaban el problema. Ante esto Aristóteles asume los cuestionamientos y ofrece una solución con base en la crítica a pensadores como Meliso y Parménides, quienes planteaban un único principio infinito y a los físicos de la época junto con sus planteamientos de corporalidad, como por ejemplo, el de Anaxágoras, quien planteaba la constitución de los cuerpos a partir de infinitas partículas (Aristóteles, Siglo IV, traducción 1995).

En la época se proponen tres posturas que relacionan el todo, con una primera preocupación que gira en torno a la composición; Parménides y Meliso (El ser es uno), (El ser es infinito) (Aristóteles, Siglo IV, traducción 1995). En primera medida se plantea el todo como un conjunto compuesto de sustancia, cualidad y cantidad; el segundo habla del todo conformado por una única sustancia; y el tercero como el todo compuesto como una única cualidad, aquí la mayor preocupación es establecer una forma para el comportamiento corpóreo; ante esto

Aristóteles niega la posibilidad de un único principio y la imposibilidad del conocimiento si se propone una infinidad de los mismos.

Aristóteles propone tres principios afirmando que “Los principios no son dos ni más de tres, son tres” (Guillermo, R. 1995) así dos opuestos y la sustancia son suficientes para dar cuenta del movimiento (para Aristóteles el movimiento es todo cambio). Ejemplos de opuestos como lo son, frío – caliente; arriba – abajo; interior – posterior, configurado – no configurado, etc., así en un caso particular se puede decir que hablar del ser, es hablar de dos opuestos y su sustancia. La estatua parte de la sustancia, o la naturaleza de la madera, en principios es algo no configurado que al ser estatua pasa a ser algo configurado. De esta forma el ser son tres (sustancia y dos opuestos) a partir de estos puedo hablar del ser (Estatua).

En consecuencia con lo anterior se puede decir que las cosas se generan o llegan a ser en algunos casos por la transformación de algún elemento natural, como el de bronce que al fundirse permite obtener una Imagen o representación de una persona, otros por adición como las vasijas de barro, otros por sustracción como las estatuas de piedra, que para ser modeladas necesitan que sea extraído todo el sobrante con el cincel, otros por composición, como los templos de Grecia con sus bases, plataformas, columnas, etc. y por último otros alterando la composición de su materia, como el tronco o la hoja que se quema en la hoguera (Aristóteles, Siglo IV, traducción 1995).y en cuanto a la constitución de los cuerpos no es posible de acuerdo a la visión aristotélica si quiera pensar en una composición por infinitas partes, esto queda fuera de todo conocimiento posible.

Otra parte que fundamenta la propuesta aristotélica es la formulación de las causas que hacen posible el movimiento, Aristóteles propone que además de conocer las cosas por los principios que se han mencionado hay posibilidad de conocerlos por otras causas, siendo estas aquellas que no son espontáneas por ser producto del arte, de la capacidad del hombre o simplemente producto del azar. Bajo estos parámetros Aristóteles propone que las cosas por naturaleza serán el fuego, las plantas, los animales, el agua, el aire y lo que sea similar o relacionado a estas ya que cada una de estas tiene un principio de movilidad¹ y de reposo (en

¹ *El principio propio de movilidad al que se refiere en la física de Aristóteles no describe únicamente a aquello que se mueve por sí mismo, como los animales; sino a todo ente natural; ya que para Aristóteles el principio es en el sentido de la posible disposición de mover algo o ser movido por algo; en consecuencia el movimiento es un cambio de la potencia al acto hacia el estado de actualización.*

ausencia del cambio); esta movilidad puede darse por un cambio local, incrementos o disminución en la composición o cualquier tipo de alteración.

Contrario a esto hay unos elementos que son “productos” como lo son las esculturas, las pinturas, el vestuario, utensilios de barro, etc., estas no tienen tendencia natural al cambio salvo por accidentes, a pesar de su composición interna que corresponde a la naturaleza, estos van a tener un principio propio de movilidad o reposo con relación a la característica interna de su naturaleza de composición. En los casos que se trata de estos “productos” es muy fácil identificar dos características propias como lo son la forma y la materia de la cual están compuestos que corresponden a su uso.

Esas tendencias al movimiento son las que dan origen a las causas que plantea Aristóteles, y ya que el objeto es el conocer y no creemos conocer algo si antes no hemos establecido en cada caso el ¿por qué? lo cual significa percibir la causa (Aristóteles, Siglo IV, traducción 1995). Es de particular interés saber que algo se genera o destruye mediante los diferentes cambios naturales o por accidente de los objetos de estudio en cuanto al uso de las cosas, la productividad de las cosas (en relación a la materia) y la arquitectura de las cosas (en relación a la forma). Las causas que establece Aristóteles como explicación y origen de la generación o destrucción son:

1. Constitutivo interno: Da cuenta del material que se compone un cuerpo, madera, piedra, metal, agua etc.
2. Forma o modelo: Habla de aquella estructura que enuncia toda una especie de cosas sin necesidad de verlas, es el concepto mismo como por ejemplo, cuadro, caballo, mesa, etc. Estas palabras dibujan un esquema en nuestra mente aun cuando no estemos viendo el objeto que se menciona, esta es la forma o modelo.
3. Principio primero: son todas aquellas cosas o circunstancias que permiten que algo sea generado, todo aquello que da posibilidad de establecer algún tipo de movimiento.
4. El fin: esta es la razón del origen de las cosas creadas, o el objetivo del movimiento; se cambia algo por alguna razón particular o se crea algo por una razón particular y esta corresponderá a una forma, a un material, etc.

Con lo anterior se trata de establecer una base que permita traer a discusión los elementos que en principio se proponen como desencadenantes y estructurales en la explicación de los eventos propuestos en la actualidad como mecánicos a propósito de la idea de lugar. El movimiento local propuesto por Aristóteles es un ejemplo de esto, por lo que a continuación se traen algunas discusiones (presentadas en la Física de Aristóteles) que relacionan la noción de espacio, el tiempo, el vacío, el movimiento y su consecuencia en la organización que se propone del mundo para el autor en cuestión.

Para dar inicio al análisis de estas nociones, es necesario aclarar nuevamente, que el movimiento para Aristóteles es todo tipo de cambio, pero en este trabajo sólo se va a tratar el “movimiento local”; un movimiento particular entre los múltiples que propone el autor, ya que líneas anteriores mencionamos que bajo esta perspectiva se intenta dar cuenta de todo lo que el individuo logra percibir.

Una de las principales nociones que se desea analizar es la noción de espacio; esta tiene una correspondencia con lo que Aristóteles propone como lugar y este lugar a diferencia de las esferas que proponen una división entre los dos mundos, es tal vez un elemento que permite ver la unidad del universo organizado conceptualmente por Aristóteles. La idea de lugar propuesta corresponde a la idea de continuidad y por ende la negación del vacío; esta idea es acompañada de la idea de finitud, un espacio finito, con límites establecidos por la máxima esfera después de la cual no puede existir nada, el lugar contiene los dos mundos, desde lo perfecto celeste, hasta la corrupción de la Tierra.

El lugar de esta forma es el envolvente de todos los objetos, estos objetos son los visibles o los que se escapan de este sentido; en medio de dos objetos está un elemento que es el aire y este está envuelto por el lugar al igual que los dos objetos que están separados. El lugar en estos términos envuelve toda la estructura de un mundo que está constituido por los cinco elementos fundamentales (Tierra, Agua, Fuego, Aire y Éter) establecidos en sus lugares naturales, a los cuales tienen una tendencia natural.

Desde esta perspectiva, el movimiento local (cambio de posición) de los objetos estarían dados en relación al cambio de lugar, para lo cual Aristóteles incluye dos términos de movimiento, los Naturales y los Violentos. Para el caso de los movimientos naturales, este

cambio de lugar está establecido por el principio teológico de la perfección, donde todo cuerpo tiende a alcanzar la perfección y esto solo es posible cuando se encuentra en su lugar natural; lugar que demarca una configuración particular a la cual tienden los cuerpos según su naturaleza, que para el caso de los cuerpos pesados estará debajo y para los cuerpos ligeros estará arriba. El movimiento para los cuerpos celestes tiene un carácter divino e inmutable para Aristóteles (por lo que en este trabajo no se indaga acerca de las explicaciones planteadas en relación con los movimientos celestes, pero si se harán algunas aclaraciones de la correspondencia de la noción de espacio con estas organizaciones).

El tiempo resulta ser también un elemento de discusión ya que trae consigo implícita una refutación de la idea de espacio vacío, Aristóteles propone la noción de tiempo como la medida del movimiento; en estos términos solo es posible hablar del tiempo o de una medida del movimiento en presencia de los cuerpos, ya sean de naturaleza terrestre o imperfecta o estén en el campo celeste de la perfección; el vacío por el contrario dejaría por fuera la idea de duración ya que en el vacío no hay nada que presente una movilidad.

Esta noción por lo tanto resulta ser muy útil en la antigüedad, esta medida del movimiento con relación al marco celeste, resultó beneficiosa en múltiples actividades del común (agricultura, ganadería, etc.) y por ende, es posible reconocer como se establecen los que conocemos hoy como “marcos de referencia” desde la antigüedad con esos movimientos perfectos de la orbe celeste.

La medida del tiempo obedece a patrones “regulares” del movimiento de esos astros encerrados en el lugar, ese lugar que de acuerdo a la organización propuesta por Aristóteles no afectaban en lo mínimo a los astros inmutables y perfectos, pero que por el contrario imprimían una tendencia de movilidad a todos los cuerpos corruptos de la esfera terrestre hasta el punto de causar esos movimientos naturales. Así la idea de lugar permite organizar el universo de Aristóteles y analizar los movimientos que dentro del él se presentan.

En esta organización que propone el lugar como generador de movimiento, resulta relevante una relación más que es la idea de velocidad; esta noción permite establecer diferencias en movimientos que podrían obedecer a la misma naturaleza, como por ejemplo un evento de caída. Dos cuerpos de igual o diferente masa (siendo del mismo material) tienden a su lugar

natural bajo el parámetro del tiempo; llegarán a su lugar natural empleando una misma duración, una mayor duración o una menor duración dependiendo de la cantidad de materia.

La cantidad de materia obedece a la noción de lugar, en tanto más materia mayor será la tendencia de llegar a su lugar natural y viceversa, esto habla de cambios en la velocidad; esta velocidad aun cuando no se establece matemáticamente o bajo experiencias de Aristóteles registradas, ha sido motivo de estudio para algunos historiadores que proponen una relación entre la cantidad de lugares que ocupa un cuerpo y la duración de estos movimientos, correspondiendo así de forma implícita a la velocidad; una velocidad que relaciona tanto la cantidad de masa, como el tiempo y el lugar que se ha desplazado. (Aristóteles, Siglo IV, traducción 1995)

Así cuando un cuerpo cae es por acción de su pesantés y esta es directamente proporcional a su masa, de tal modo que a mayor masa, más velocidad de caída tendrá el cuerpo y al llegar al suelo el peso no ejerce más acción sobre el cuerpo por lo que este estará en reposo hasta que alguna fuerza lo mueva de su lugar natural. En esta visión explicativa, el peso de un cuerpo grave se pone en semejanza al alma de un hombre, el cuerpo del hombre se mueve en virtud del alma, y el cuerpo grave se mueve en virtud de su peso; de esta forma el cuerpo más grave tendrá más peso y por ende mayor tendencia a su lugar natural.

Para finalizar es necesario destacar que si bien Aristóteles no compartía las ideas de vacío y de infinito propuestas en la época, estas le fueron útiles para el planteamiento de argumentos que reforzaban sus teorías. Aquí es evidente la actividad humana en el acto de concebir nociones que intentan construir explicaciones mediante el entendimiento y la comprensión del entorno, Aristóteles tuvo que construir su noción de lugar a partir de los movimientos que evidenció y además establecer sus propias ideas de vacío e infinito para no aceptarlas en el momento dado.

Pensar en una velocidad infinita o la imposibilidad de ella, en la inmovilidad en el vacío, en la imposibilidad de un tiempo sin movimiento (por ende sin cuerpos) y la imposibilidad de un cuerpo constituido por infinitas partículas (que ocuparían todo el lugar); resulta ser un ejercicio que se desconoce y es el de traer a juego todo lo que el individuo conoce, para ir organizando un mundo propio (su mundo), el mundo de Aristóteles.

No aceptar la idea del vacío es un fuerte argumento por las implicaciones que esta noción tienen sobre la perspectiva de movimiento local planteada por Aristóteles, en donde necesariamente el “lugar” tiene unas características particulares sin las cuales el cambio no es posible. Por ejemplo, para que un cuerpo pueda cambiar de lugar necesariamente debe cambiar de lugar con respecto a otros cuerpos y en un espacio vacío no habría forma de evidenciar un cambio; además, en la propuesta aristotélica la materialidad del lugar es indispensable para distinguir los lugares naturales, en el vacío tales lugares no existen y los cuerpos no tendrían ningún tipo de tendencia natural al cambio, pues los movimientos naturales a los que obedece la materia son tendencia a lugares necesariamente materiales.

En definitiva, bajo esta perspectiva la idea de cambio local en el vacío no es posible y por ende la idea de tiempo tampoco sería posible de argumentar, pues el tiempo será la medida del cambio y ante la imposibilidad de evidenciar algún tipo de cambio por consecuencia de la ausencia de cuerpos en el lugar, la movilidad de los tales no sería posible y por ende la velocidad como esa relación que se propone entre el cambio de lugar y la cantidad de cambio que el cuerpo que pasa de un lugar a otro describe, no es posible de sostener y además carece de sentido. (Aristóteles, Siglo IV, traducción 1995)

Aquí se evidencian razonamientos propios de Aristóteles como un individuo que pretende dar cuenta del mundo que lo rodea y los cambios que le son posibles percibir mediante sus sentidos; es un trabajo completo de organización de experiencias, de las cuales se derivan múltiples argumentos que finalmente permiten que sea formalizada en alguna manera la idea de caída de un cuerpo como un fenómeno físico (Malagon, 2013); siendo el planteamiento de lugar propuesto por Aristóteles análogo a la idea que se concibe en la actualidad de “espacio” y que en el presente trabajo se propone como constitutivo para la organización de experiencias y la comprensión de fenómenos físicos.

La arquitectura de Galileo Galilei para asumir un nuevo mundo

Es imposible evitar el salto abrupto entre las propuestas aristotélicas y la apuesta galileana, con relación a la organización que se propone del mundo y por ende al análisis que desde cada perspectiva se formula para los eventos (mecánicos en este caso) que obedecen a dichas organizaciones. Sin embargo, es necesario destacar que de Aristóteles a Galileo las luchas

por lograr establecimientos teóricos que permitieran una congruencia entre la teoría y la realidad observable, fueron pagadas aun con sangre, de hombres que apostaban a la idea de comprender el mundo de una forma particular con base en análisis de formulaciones que les precedían (Kuhn, 1956).

Así guerras, conquistas, pérdida y búsqueda del conocimiento antiguo, el surgimiento de la escolástica y las universidades, el establecimiento de la iglesia como juez máxima del conocimiento entre otros sucesos; hacen parte del proceso que corresponde al salto que se menciona. Y es así que personajes como Santo Tomás de Aquino, Buridán, Copérnico y muchos otros; preocupados por la forma en que se establecía el conocimiento, participan en todo aquello que Galileo Galilei retomaría o reformularía con el único fin de responder ya no al por qué de los eventos, sino al cómo suceden cada uno de ellos. (Kuhn, 1956).

Para dar inicio a esto que se ha denominado “La arquitectura de Galileo Galilei” es necesario reconocer el paso trascendente que Galileo da frente a las formas de observar; Galileo no solo observa sino que trasciende al campo de la experimentación y los razonamientos lógicos con base en sus observaciones. En estos términos es una necesidad cuantificar la experiencia y por supuesto comunicar de la forma más acertada estos hallazgos. (Galilei, 1632)

Galileo se preocupa especialmente del problema del movimiento; pero no únicamente de aquel al cual los filósofos de la época y la iglesia preponderan, sino que además se preocupa de las oscilaciones de un cuerpo suspendido por una cuerda, los cuerpos que ruedan por un plano inclinado o un cuerpo cayendo libremente bajo una acción que lo lleva a un centro, con una preocupación de base, que será la descripción del cómo sucede cada uno de estos eventos.

Sucedan muchos eventos para que Galileo asuma, organice y comprenda el mundo de una forma muy distinta a la predominante en el siglo XVI; pero hay una que se hace necesario mencionar y es la construcción del “catalejo”. Este instrumento no solo permitiría la observación mejorada y ampliada de objetos en la tierra sino en el cielo; aquí resulta importante reconocer las múltiples aplicaciones que se dieron en el campo de la guerra y la navegación (Galilei, 1610).

Bertolt Brecht adjudica una frase a Galileo a propósito de los usos y el pensamiento sobre la utilidad de la ciencia: “Yo sostengo que el único objetivo de la Ciencia es aliviar las fatigas

de la existencia humana. Si los científicos, intimidados por los poderosos egoístas, se contentan con acumular Ciencia por la Ciencia misma, se la mutilará, y vuestras nuevas máquinas significarán sólo nuevos sufrimientos (Galilei, 1610). Esta forma de utilidad de la ciencia cambia la perspectiva del conocimiento puesto que no es solo comprender el porqué de las cosas, sino que la ciencia ahora está al servicio de la humanidad.

Como preámbulo a la constitución del espacio hay que reconocer que el “inmenso” mundo (pero finito) que se había establecido desde la antigüedad, con un centro privilegiado ocupado por la Tierra inmóvil, en torno a la cual giraban los demás astros (perfectos por naturaleza incluida la luna como formadora de la esfera que separaba los dos mundos), no poseía tales características, puesto que se va a desvirtuar su inmensidad (ya que solo se observaba una pequeña parte) y su finitud.

Ya que es incierta la capacidad de observación máxima (se ha ampliado pero no puede decirse que es la máxima) además el cambio y la corrupción no son propios únicamente del mundo supra lunar (la luna no es perfectamente lisa); Galileo de alguna forma debe enfrentar lo que la iglesia ha implantado por la fuerza pero que la historia misma sería quien desmonte (Galilei, 1610).

Los postulados sobre el centro de gravedad de los sólidos son de alguna forma los que permiten a Galileo establecer abstracciones de la materia; pensar que hay un punto en el cual se concentra toda la masa de un cuerpo, hace posible proponer una materia puntual dejando de lado cualidades de la materia que obligarían a formular una teoría para cada cuerpo que se intente analizar; contrario a lo que propone Galileo quien tiene el firme interés de establecer generalidades que articulen la lógica y la experiencia cotidiana. (Galilei, 1632)

En el siguiente fragmento tomado de Sidereus nuncius 2010, se vislumbra en alguna forma el proceder de Galileo que incluye razonamientos de la rama de la óptica, una práctica experimental, un razonamiento que permite cuantificaciones y un proceso de refinamiento que articula lo anterior.

“En primer lugar, procuré un tubo de plomo y en sus extremidades adapté dos lentes, ambas con una parte plana, pero, por la otra una era esférica convexa y la otra, a su vez, cóncava. Luego, acercando el ojo a la parte cóncava vi los objetos bastante grandes y cercanos, pues aparecían tres veces más próximos y nueve veces más grandes que cuando se miran únicamente de forma natural. En seguida,

me esforcé en hacer otro más exacto, que representaba los objetos más de sesenta veces más grandes. Al fin, sin ahorrar ningún esfuerzo ni coste, sucedió que fui capaz de construirme un instrumento tan excelente, que las cosas vistas por medio de él aparecen casi mil veces mayores, y más de treinta veces más próximas que si se mirasen sólo con las facultades naturales” (Galilei, 1610, pág. 9).

En esta construcción se reconoce de una forma el paso de la contemplación de la naturaleza a la práctica y la aplicación del conocimiento sobre la misma (Orozco, 1999), así el conocimiento permite que se construyan extensiones del cuerpo que permiten escudriñar un universo cada vez más complejo e ilimitado.

Las observaciones de la Luna en sus palabras *“Hermosísimo y agradabilísimo el cuerpo lunar” ... «alejado de nosotros casi sesenta semidiámetros terrestres, tan cerca como si distase tan sólo dos de esas medidas, de modo que el diámetro de la propia Luna parezca casi treinta veces más grande » (Galilei, 1610, pág. 19)*

Los razonamientos que proponen una superficie áspera y desigual, contrario a las teorías aristotélicas y ptolemaicas, asemejándola a la Tierra llena de protuberancias, lagunas y depresiones; además el análisis de las observaciones de las estrellas fijas que según Galileo no parecen aumentar de tamaño en la misma proporción según se incrementan los demás objetos, y también la propia Luna, sino que en las estrellas el aumento parece mucho menor; de tal manera que el catalejo, que podrá multiplicar los restantes objetos, por ejemplo, según una proporción de cien, se puede creer, que las estrellas apenas se convierten en cuatro o cinco veces más grandes (Galilei, 1610); son hechos que preceden a la estructuración y organización de los eventos estudiados por Galileo.

Con el catalejo Galileo no solo aumenta su rango de observación, sino que además rompe un paradigma del conocimiento; si el universo no está organizado como lo establece el aristotelismo, tal vez no obedece al comportamiento que se le atribuye y este es un punto trascendente en la arquitectura que propone Galileo, tanto para la organización del mundo como para la comprensión de lo que sucede en esta nueva organización. Ver nuevas estrellas, nuevos planetas y la ampliación misma del universo; habla de lo inimaginable que resulta el universo envuelto en un lugar que ha sido fracturado y que si bien galileo no propone una infinitud de este, si propone un límite de acuerdo a las capacidades de observación con “un más allá” siempre presente.

Finalmente la defensa de un mundo girando en torno al Sol, una tierra móvil, astros que giran en torno a otros planetas y una Luna que no forma un límite sino que danza regularmente en

torno a nosotros, permiten pensar de forma distinta; aquí la actividad mental de Galileo es evidente, las relaciones que establece para formular nuevos conocimientos y la estructuración de un nuevo pensamiento acorde a lo anterior.

Organización galileana

A continuación se reconstruye una breve síntesis que permite reconocer la materia, el espacio, el tiempo y la velocidad como agentes estructurales en la comprensión de los fenómenos de estudio (para este caso particular el movimiento de los cuerpos).

Pensar en un cuerpo en movimiento trae consigo implícita y obligatoria la idea de materia, puesto que no hay posibilidad alguna bajo la perspectiva galileana de pensar en cuerpos reales inmateriales; sin embargo en el tratamiento que Galileo propone para el movimiento de los cuerpos, la materia y los cuerpos son abstracciones geométricas de la realidad; en estas abstracciones se deja de lado todo aquello que perturba el análisis que se propone, así se supone que la materia es inalterable, es decir siempre la misma; eliminando todas las posibles imperfecciones llegando a suponerla perfecta y exenta de cualquier cambio accidental.

De tal forma que si las leyes de Galileo habían de aplicarse al mundo real que le rodeaba, tenía que saber con exactitud cuál sería el efecto de la resistencia del medio; ya que los cuerpos tienen un peso específico relativo al medio, siendo este relevante al intentar analizar un fenómeno y por ende hay que proponerlo de tal forma sean posibles las generalidades.

Generalidades que responden a una organización de un mundo (influida por sus estudios sobre las obras copernicanas) del que no afirma su infinitud; pero que gracias a reconocer las limitaciones humanas en el acto de observación, los nuevos hallazgos al observar la luna y nuevos astros en una parte del mundo antes oculta, dejan la posibilidad de pensarlo. Este mundo ahora con una forma indefinida y además indeterminada sin la posibilidad de un centro fijo, será generalizado empleando los datos experimentales como una especie “plano de construcción” que permitirá no solo la estructuración sino el entendimiento.

Es así que el espacio o la extensión que propone, debe permitir el manejo de abstracciones y por lo tanto ser una; esta abstracción es un lugar vacío, establecido de forma geométrica, está en todas partes y contiene todos los cuerpos y las figuras; además es un recipiente

estático que cuenta con las mismas propiedades físicas en todas las direcciones del universo; de ninguna forma es sensible al movimiento de los cuerpos (relaciones geométricas entre cuerpos) por lo que no hay posibilidad de que los perturbe y el universo es un gran libro escrito en el lenguaje de Dios (las matemáticas), dejando por sentada la idea de una relación exacta entre las abstracciones matemáticas y el mundo de la experiencia (Galilei, 1632)

“La filosofía está escrita en ese grandioso libro que está continuamente abierto ante nuestros ojos (lo llamo universo). Pero no se puede descifrar si antes no se comprende el lenguaje y se conocen los caracteres en que está escrito. Está escrito en lenguaje matemático, siendo sus caracteres triángulos, círculos y figuras geométricas. Sin estos medios es humanamente imposible comprender una palabra; sin ellos, deambulamos vanamente por un oscuro laberinto” (Galilei, 1632, pág. 29).

Así el mundo se puede comprender en la medida que hay posibilidad de abstraer las propiedades de los cuerpos y ubicarlos en un espacio geocéntrico. Si el objetivo es analizar el movimiento, el color, olor, sabor y aun la forma pueden dejarse de lado; así no hay posibilidad de pensar en reglas para mundos distintos (como se proponía desde la visión aristotélica); sino que las generalizaciones permiten que las reglas del universo sean las mismas en cualquier lugar.

El espacio geométrico permite pensar de esta manera; permite además pensar en un lugar carente de objetos (el vacío) y la infinitud de las partes de un medio continuo, pero esto solo es posible después de que realiza múltiples experimentos que dan evidencia de la acción del medio sobre los cuerpos y que permite que esta acción sea “eliminada” gradualmente hasta desaparecer (por lo menos en los experimentos mentales que se convierten en una nueva extensión del cuerpo como lo fue el telescopio), donde las acciones de Galileo estructuran toda una forma de pensar los fenómenos (Galilei, 1610).

Esta nueva arquitectura de pensamiento es la que permite establecer relaciones que (contrario a las visiones peripatéticas) confirmaban el estado de movimiento propio de la Tierra mediante la noción de sistema inercial, que afirmaba la posibilidad de dicho movimiento sin que los cuerpos que la ocupan salieran despedidos al espacio exterior; siendo estos participes de dicho movimiento y por ende participes de la velocidad propia de la Tierra, además de las velocidades propias de los cuerpos, que cambian de posición al interior de la Tierra con respecto a otros.

El anterior razonamiento es producto de la discusión que surge al pensar en el lanzamiento de un proyectil en el mismo sentido de rotación de la tierra y en sentido opuesto. En principio pareciese obvio que si la Tierra está en movimiento, un proyectil lanzado en dicha dirección llegaría más lejos que un proyectil lanzado en sentido contrario a dicho movimiento y si tal caso no es el resultado obtenido (como se evidencia en la práctica experimental donde se obtiene que el alcance es el mismo) la Tierra debe necesariamente estar estática como lo propuso Tycho Brahe (Galilei, 1632)

La respuesta de Galileo propone que la velocidad se suma o se resta según sea en el mismo sentido u opuesto al sentido de la velocidad de la tierra; de tal forma que cuando el proyectil se dispara en sentido oriente, la velocidad del proyectil será la suma de la velocidad debida a la pólvora (v) más la velocidad del cañón (participe de la velocidad de la Tierra) (V); de forma que el alcance (S) del proyectil es el espacio $(v + V)t$, al que hay que restar el espacio recorrido en el mismo tiempo (t) por la Tierra que se mueve en la misma dirección y sentido (Vt) (Galilei, 1632).

Por lo tanto el alcance resultante estará dado por:

$$S = (v + V)t - Vt = vt$$

Por simetría el alcance (S) del disparo hacia occidente estará dado por:

$$S = (v - V)t + Vt = vt$$

Lo anterior defiende la postura que propone que la Tierra se mueve. Estos esfuerzos de Galileo por corresponder a lo postulado por Copérnico permiten que se dé origen a una nueva forma de analizar el movimiento. En este nuevo diseño es evidente la actividad humana (más allá de la contemplación) en la actividad experimental (observación, diseño, construcción, etc.) y en los razonamientos (análisis, conjeturas, conclusiones, etc.) como base de la estructura de la teoría propuesta, de tal forma que la noción de espacio, tiempo y por ende de velocidad sean agentes estructurales de fenómenos mecánicos y de la misma organización del mundo en el que se desarrollan dichos fenómenos.

El Dios de Descartes: una elección entre la experiencia y la razón

Contexto y principios filosóficos

Descartes también fue matemático y físico pero sobre todo se destacó en el terreno filosófico, dio una nueva orientación a la filosofía situando el énfasis en la validez del conocimiento humano y está considerado como el primer filósofo moderno por la importancia que da al yo (al sujeto de conocimiento). Descartes debe vivir y afrontar una época con grandes cambios e inestabilidad. En el siglo 17 la iglesia sufre un proceso de división como consecuencia de la reforma de Calvino y Lutero, esto provoca conflictos entre católicos y reformados o protestantes; además el poderío de la iglesia no es suficiente y se ve limitada la religión, la biblia ya no es reconocida como el libro con todas las respuestas (Jiménez, 2016).

Por otro lado se había producido una revolución científica, el universo aristotélico defendido por los peripatéticos y por la iglesia con una Tierra ubicada en un centro inmóvil (privilegio de la humanidad) queda desvirtuado, resulta que la Tierra ya no es estática y firme en el centro del universo, sino que somos nosotros los que estamos flotando por el universo alrededor de un Sol fijo; Kepler desmonta algunas ideas fundamentales de la física aristotélica y se intenta matematizar el universo; por su parte Galileo propone un nuevo método científico y cuestiona los límites del universo gracias a sus observaciones, entre otros hechos (Koyré, 1957)

Lo anterior propone una época de gran inestabilidad intelectual, no se sabe en qué se puede creer y en que no, este es el contexto que vive Descartes, de quien es pertinente mencionar una de sus frases célebres que dan base a su estudio y método propuesto para el conocimiento. “Me encontré tan perdido entre tantos errores y dudas, que me parecía que al tratar de instruirme no había conseguido otro provecho que haber descubierto cada vez más mi ignorancia” (Koyré, 1957)

Descartes establece un método que permite conocer con las bases incuestionables de los conocimientos geométricos que consta de cuatro reglas fundamentales, donde la principal motivación de Descartes para construir su teoría es la convicción de que la filosofía tendría que constituirse como un saber universal; el problema es que la filosofía vigente se encuentra muy alejada de esta idea, además hay una infinitud de teorías diferentes y contradictorias que

lo único que hacen es conducir hacia el escepticismo y niegan la posibilidad de llegar a un conocimiento seguro, fiable; la causa de todo esto según Descartes es la falta de un método adecuado de conocimiento.

La primera regla del método que propone es la evidencia, solo aceptará como verdadero aquello que se presente como claro y distinto. Por algo claro Descartes se refiere como algo que se presenta directamente a nuestro entendimiento sin intermediarios que puedan conducirnos a error como por ejemplo las matemáticas (es claro porque es exacto), además de claros los saberes deben ser distintos; los saberes distintos que propone Descartes son saberes que no se puedan confundir con otra cosa, que sean simples y nítidos. (Descartes, s.f.)

La segunda regla es el análisis, este consiste en dividir nuestro objeto de estudio en tantas partes menores como sea posible para así poder resolverlo mejor. La tercera regla es la síntesis, conducir con orden los pensamientos comenzando con objetos más simples y más fáciles de conocer, para ascender poco a poco como a través de escalones hasta el conocimiento de los más complejos, dando lugar a una cadena de argumentos que iluminen los nexos del conjunto; de forma análoga es como crear una cadena de razonamientos que van desde lo más sencillo hasta lo compuesto y que no pueden dejar de tener una correspondencia con la realidad. La cuarta regla es una enumeración y revisión para asegurarse de no haber cometido ningún error (Descartes, s.f.).

El método consta de dos fases importantes; la primera es la parte negativa (la de la duda) expuesta en la primera meditación (Acerca de las cosas que se pueden poner en duda) (Descartes, s.f.) ya que la obra de Descartes empieza donde termina el renacimiento², en el escepticismo; esto significa que lo pondremos todo en duda, pero ¿Por qué?, porque debemos tener en cuenta los argumentos de los escépticos y además hay razones para poner todo en

² El Renacimiento coloca al hombre como el valor supremo y hace de su conciencia individual, independiente y libre un referente fundamental que sitúa por encima de cualquier autoridad, ya sea ésta social, filosófica o religiosa. Esta oposición a todo principio de autoridad entraña la necesidad de buscar un nuevo fundamento de la vida y del pensamiento humano, fundamento que el Renacimiento pondrá en la razón humana. Aunque Descartes es un hombre del Barroco, encarna perfectamente el verdadero sentido del Renacimiento, la época del resurgimiento del espíritu teórico y del conocimiento de la verdad como tema central de la investigación científica ... En el Renacimiento, época de cambios cosmológicos, ontológicos e históricos, se ha dado un cambio profundo en la concepción del saber, que puede ejemplificarse en el cambio ocurrido en torno al concepto de método (Galilei, 1610)

duda, como por ejemplo los errores de los sentidos que a veces nos engañan y si bien es improbable que nos engañen siempre, no tenemos un criterio general para distinguirlo, en consecuencia no podemos fiarnos de los sentidos como herramienta de conocimiento

También podemos dudar de la existencia del mundo exterior a nosotros, eso se ve reflejado en acciones simples como cuando dormimos, ya que los sueños se nos presentan con una gran vivacidad como si estuviéramos en estado de vigilia y al despertar, nos damos cuenta que todo ha sido un sueño. Estamos convencidos que podemos distinguir el estado de vigilia del estado de sueño, pero no tenemos un criterio de distinción absolutamente evidente, por lo tanto podemos dudar de la existencia del mundo.

Finalmente descartes nos dice que también podemos dudar de las verdades independientes de la experiencia como las matemáticas; esto lo argumenta bajo la suposición que haya un genio maligno y muy poderoso superior que tiene como única función engañar; quizá se está convencido de que dos más tres es igual a cinco, pero ¿y si en realidad dos más tres es igual a seis? (Descartes, s.f.)

Llegados a este punto se debe dudar de todo, puedo dudar de todo y esto quiere decir que la duda es hiperbólica, se puede dudar de todo y todo es sospechoso, todo se tiene que negar, de tal forma que la negación es el límite de la duda. La cuestión es que si aun dentro de la duda hiperbólica encuentro una verdad, esta será irrefutable y superaré el escepticismo y es justo en el momento en el que llegamos al límite de la duda cuando empieza la parte positiva del método y cuando encontramos la primera verdad “El yo”.

La segunda meditación (Acerca de la naturaleza del espíritu humano; y que es más fácil de conocer que el cuerpo) inicia con una reflexión - el mismo hecho de dudar de todo me hace ver que estoy dudando, hay algo que duda, que piensa; por lo tanto existe algo que piensa-. Con esta reflexión enuncia su frase famosa “Cogito, ergo sum” pienso luego existo (Descartes, s.f.).

Descartes ilustra este descubrimiento con el ejemplo del trozo de cera: imaginemos que acercamos un trozo de cera a un fuego, este se irá derritiendo y adoptando diferentes formas, pero nosotros deducimos que es el mismo trozo de cera pero ¿Cómo? No es por nuestros sentidos que lo único que nos muestran son formas diferentes sino mediante la razón y el

intelecto que sabemos que es el mismo trozo de cera. No podemos estar seguros que en verdad haya cera (dudamos de la existencia del mundo) pero queda claro que yo pienso en la cera y que por lo tanto existe algo que piensa; este “yo” es lo que Descartes llama *Res Cogitans* que significa la sustancia pensante (Descartes, 2002).

Con este ejemplo también vemos que es mediante el intelecto que podemos deducir la primera verdad y esto es una muestra del racionalismo cartesiano. Y con el análisis del yo, de la sustancia pensante empieza la tercera meditación (Acercas de Dios; que existe) la existencia del yo de la conciencia es una intuición, constituyen una verdad indudable que se aparece a la mente de forma clara y distinta. Por esto nos dirá que la primera verdad tiene la función de ser el criterio de evidencia “el criterio de verdad”. Descartes establece como verdaderas todas las cosas que concebamos de forma clara y distinta; que concebamos de la misma manera que concebimos el yo (El Cogito es una verdad indudable) (Descartes, s.f.).

Lo anterior nos ubica en el “solipsismo” (únicamente puedo creer en que yo existo), por esto según Descartes debemos seguir investigando para encontrar más verdades con base en la afirmación de que el “yo” piensa, pero ¿en qué piensa? Descartes investiga sobre el contenido de nuestra mente (las ideas) y nos dice que se pueden dividir en tres tipos: las adventicias, que son las que tenemos sobre el mundo, las que vienen de nuestra experiencia externa como por ejemplo la idea de caballo; las facticias, son las que construimos combinando ideas distintas como por ejemplo la idea de unicornio y las innatas, son las que no provienen del exterior pero tampoco provienen de nuestra imaginación como por ejemplo la idea de infinito o la de perfección (Descartes, 2002).

Descartes afirma que para continuar encontrando verdades tendremos que basar la investigación en las ideas innatas, las adventicias no nos sirven porque aun dudamos de la realidad exterior, las facticias aún menos puesto que provienen de nuestra imaginación; por lo tanto las únicas ideas a partir de las cuales podemos construir el conocimiento son las innatas. Es así que por medio de las ideas innatas se puede llegar a la segunda verdad (la existencia de Dios). Descartes nos dice que la idea de Dios equivalente a la idea de infinito, esta se encuentra dentro de nuestra mente de forma innata; la cuestión es ¿Cómo pasamos de la idea a demostrar su existencia? Para hacer esto Descartes recurre a dos argumentos (la infinitud y la causalidad aplicada al yo)

El argumento de la infinitud nos dice que la idea de infinito necesita una causa adecuada, yo no he creado la idea de infinito porque soy finito y por lo tanto solo la puede haber creado una sustancia infinita (Dios), en estos términos Dios existe como causa de la idea de infinito en mi mente. El segundo es el argumento de la causalidad aplicada al yo, donde nos dice; el yo es infinito e imperfecto, porque duda cuál es su causa (la causa del yo). Es evidente que yo no me he creado a mí mismo porque me habría creado infinito y perfecto por lo tanto tuve que ser creado por Dios.

La cuarta meditación (Acerca de lo verdadero y de lo falso) propone que el yo es imperfecto, pero Dios es perfecto, y si es perfecto tiene que ser verás; esto significa que no me engaña cuando hago uso de la razón. Las cosas que yo veo de forma clara y distinta son verdad como pasa con las matemáticas; entonces ¿de dónde proviene el error?, porque tenemos que tener en cuenta que no siempre somos capaces de distinguir entre lo verdadero y lo falso; así el error no puede venir del entendimiento que es limitado (Descartes, s.f.).

Sin nos acogemos a la regla de la claridad y la distinción el entendimiento no falla, por lo tanto tiene que provenir de otro lugar y Descartes lo sitúa en la “voluntad” que es ilimitada; en estos términos siempre que intentemos ir más allá de lo que nos puede mostrar el entendimiento estamos utilizando la voluntad y esta nos inducirá al error, si se trata de emitirse juicios sobre cosas desconocidas. Con esta reflexión se anula la hipótesis del genio maligno o Dios engañador, porque Dios es veraz no nos engaña, la duda deja de ser hiperbólica y Dios en tanto que sustancia veraz y perfecta pasa a convertirse en el criterio de verdad.

En la quinta meditación (Acerca de la esencia de las cosas materiales; y otra vez acerca de Dios, que existe) Descartes ofrece otra argumentación para la existencia de Dios (el argumento ontológico) es una prueba a priori basada en la idea que Dios en tanto que ser perfecto implica su existencia necesaria, ya que es más perfecto existir que no existir. Después de estudiar la existencia de Dios, Descartes pasa a estudiar la tercera verdad (la existencia del mundo y de las cosas materiales) entre las cuales hay el cuerpo y los sentidos (Descartes, s.f.).

En la sexta meditación (Acerca de la existencia de las cosas materiales, y de la distinción real entre el alma y el cuerpo del hombre) nos dice que si nos examinamos a nosotros mismos podemos ver que nuestro cuerpo es distinto a nuestra mente, al yo que se caracteriza por el pensamiento. Como Dios es perfecto y omnipotente, es capaz de crear dos sustancias completamente distintas, donde el mundo que incluye al cuerpo es una sustancia que se caracteriza por la extensión (Res Extensa) (Descartes, s.f.)

Aquí Descartes ofrece una visión mecanicista de la realidad física, el mundo sería una gran máquina compuesta de partes extensas en movimiento; así que yo, Dios y el mundo son sustancias. Pero ¿Cómo define Descartes la sustancia? La sustancia es una realidad que existe por sí misma sin necesidad de nada más (Descartes, 2002). Con la aplicación del método cartesiano y sus reglas se demuestra la existencia de tres realidades, de tres sustancias, siguiendo el “Ordo Cognoscendi y el Ordo Exponendi” el orden del conocimiento o de exposición. En primer lugar se ha descubierto la existencia del “Yo”, pero en el orden del ser, el primer lugar lo ocupa la “Res Infinita” (Dios) en calidad de creadora de las otras sustancias (la Res Cogitans “el Yo” y la Res Extensa “el Mundo”)

Estrictamente la definición de sustancia solo es aplicable a la Res Infinita ya que en realidad tanto el “Yo” como el “mundo” dependen de Dios para existir, pero Descartes mantiene el concepto para el “yo” y para el “mundo” porque nos dice que son mutuamente independientes; las dos dependen de Dios, pero son realidades diferenciadas entre ellas, son autónomas. Y en el caso del hombre, Descartes nos dirá que el cuerpo hace parte del mundo y el “yo” equivale al alma defendiendo así el dualismo antropológico (Descartes, s.f.).

La organización del mundo creado por el Dios de Descartes

Después de analizar la anterior síntesis del pensamiento filosófico propuesto por Descartes, será un poco más claro el panorama que propone puntualmente sobre la organización del mundo, el espacio, los cuerpos y el movimiento. El siguiente apartado propone dichas aclaraciones y ejemplos que den luz al lector interesado en abordar y conocer el proceder de Descartes, la acción de Dios y su concordancia con la realidad.

Según Koyré a Descartes se le atribuye la formulación de los principios fundamentales de lo que se conoce como nueva ciencia (Koyré, 1957), evidenciado en su propuesta de *reductio scientiae ad mathematicam* y de la nueva astronomía matemática con base en la idea de Dios.

Descartes establece una estrecha correlación entre lo que propone como mundo y su idea de Dios. El Dios que propone Descartes no puede ser simbolizado por medio de su creación y por ende no se manifiesta por medio de ellas (un poco opuesto a los dioses de la época). En estos términos no hay posibilidad de establecer una similitud entre Dios y el mundo; en palabras de Descartes no hay imágenes y vestigia Dei in mundo, salvo por una excepción que constituye la existencia del alma humana.

El alma humana es única y gobernante de la mente humana (una sustancia), una mente limitada pero extraordinaria hasta el punto de poder pensar, y estos pensamientos atribuidos a un ser inteligente con la capacidad de ser sensible a la idea de Dios gracias a la libertad que le ha sido dada por Él y el manejo de la voluntad (aun cuando sea imposible para el pensamiento comprender la idea de infinito por estar alejada de la experiencia real), siendo Dios este el único infinito (Koyré, 1957).

Descartes propone a Dios como el origen y generador de las ideas claras y distintas que nos permiten encontrar cada vez más verdades, además si nos apegamos a estas ideas de seguro no recaeremos en el error. En estos términos, Dios es cualificado en principio por su veracidad y nos proporciona el conocimiento suficiente para la comprensión del mundo que ha creado y son nuestras ideas claras y distintas las que nos permiten llegar a este conocimiento legítimo e indiscutible.

El mundo es voluntad y obra de Dios, pero el entendimiento de la voluntad de Dios está aislado en su totalidad de los límites de comprensión del hombre, el motivo por el cual se creó el mundo es únicamente conocido por Dios, por lo que resulta impertinente y absurdo intentar llegar a estos niveles de comprensión, inalcanzables desde cualquier punto de vista para la humanidad.

Por otra parte indagar o constituir la ciencia física partiendo de principios teleológicos no es adecuado, mucho menos tiene sentido esta perspectiva en el campo de las matemáticas. Esta disparidad obedece a que no hay una correspondencia con el mundo aristotélico variado,

lleno de matices y que se puede determinar por las cualidades correspondientes a nuestras sensaciones, y el mundo creado por el Dios de Descartes (Koyré, 1957).

El mundo del cual se desea despojar Descartes, es un mundo gobernado por la subjetividad, las opiniones débiles e inconsistentes, carentes de una congruencia con la realidad por tener como base el impreciso y equivocado conocimiento sensible. Contrario a esto Descartes propone el establecimiento de un mundo matemático, ajustadamente uniforme; un mundo en el cual la geometría se convierte en una realidad con base en la constitución de nuestras ideas claras y distintas, que fundamenten un conocimiento cierto e indudable.

Este mundo propuesto por Descartes se define únicamente por dos nociones estructurales a cualquier tipo de problema; la extensión (espacio) y el movimiento. Esto es porque un tercer elemento como lo sería la materia, es equivalente al espacio y equivalente a la extensión (Koyré, 1957).

La anterior afirmación corresponde a la determinada “identificación cartesiana de la materia con “la extensión” la cual afirma que no es la pesadez, o la dureza, o el color la que establece la composición de la materia que constituye los diferentes cuerpos en la naturaleza, puesto que un poco opuesto a esto es la extensión. Lo que quiere decir que la naturaleza de cualquier cuerpo no consiste en que sea una cosa dura, pesada o dotada de color, o cualquier otra cosa que signifique respuesta al estímulo de nuestros sentidos; sino que se constituye una sustancia como “extensa” bajo las nociones cuantificables de longitud anchura y profundidad, siendo a su vez estas nociones existentes únicamente en la medida que se asocian a una sustancia material (primer principio de negación del vacío) (Koyré, 1957).

Descartes afirma que el vacío es imposible físicamente. Lo anterior se argumenta por lo contradictorio que significa pensar en un (in adjecto) nada existente que posea algún tipo de propiedad entre ellas dimensiones. Descartes plantea que pensar en dos cuerpos separados por el vacío es algo sin sentido, puesto que si existiese el vacío entre los dos cuerpos de forma literal, no habría nada, por lo tanto, los cuerpos no estarían separados sino que estarían completamente unidos o en contacto permanente.

En otras palabras la existencia de una distancia que separa dos o más cuerpos implica la existencia de un algo, que de acuerdo a los principios cartesianos debe ser una sustancia y

por ende material, aun cuando sea una muy sutil que sea imperceptible a los sentidos. Descartes propone que no hay grados de materia, la materia sutil y la “gruesa” posee la misma naturaleza; tanto las piedras, los árboles y todo lo que vemos es tan real como aquello que no podemos observar.

Él defiende la idea de un mundo completamente lleno de “éter” en contradicción con los postulados del vacío. Además niega rotundamente la existencia del espacio como una forma distinta de la materia que cumpliría la función de llenar dicho espacio; siendo así el espacio y la materia idénticos, de tal forma que los cuerpos no están en el espacio sino que son contenidos en otros cuerpos que poseen mayor extensión, siendo las diferencias únicamente una acción de abstracción (Koyré, 1957).

La abstracción de la que se habla en la línea anterior, es un accionar del pensamiento, de hecho las mismas dimensiones que cualifican o componen el espacio son las que componen el cuerpo. Pero la diferencia que existe entre los cuerpos, es porque dotamos los cuerpos de una extensión particular que tiene la posibilidad de cambiar de lugar, en tanto que el lugar lo dotamos de una extensión tan general, que al mover el cuerpo no percibimos ningún cambio en la extensión del lugar y asumimos que es permanente, ya que la magnitud y forma no cambian con respecto a los cuerpos que se mueven al interior.

Descartes propone que es un error concebir esta diferencia pues es la misma extensión que constituye la naturaleza del cuerpo constituye también la naturaleza del espacio, de modo que sólo difieren a la manera en que la naturaleza del género o de la especie difiere de la naturaleza del individuo (Descartes, s.f.).

Además propone la posibilidad de dar explicación para el comportamiento de los cuerpos sin la necesidad de recurrir a formas sensibles; de tal modo que la verdadera idea que tenemos de él consiste tan sólo en que percibimos distintamente que es una substancia extensa en longitud, anchura y profundidad. Tan sólo eso está comprendido en la idea de espacio, no sólo de aquel que está lleno de cuerpos, sino también de aquel otro que se llama vacío. (Descartes, 2002)

Por lo anterior tanto el lugar como el espacio poseen el mismo significado que el cuerpo, y hablar de lugares que ocupan estos cuerpos únicamente hacen relación a diferencias de

magnitud, forma y figura con relación a otros cuerpos; de tal forma que no hay posibilidad de la existencia del vacío (como un espacio carente de sustancia), ya que el universo no posee un lugar con estas características

Y puesto que de esto sólo, de que un cuerpo sea extenso en longitud, anchura y profundidad, tenemos razones para concluir que es una sustancia, ya que concebimos que es imposible que lo que no es nada tenga una extensión, hemos de concluir lo mismo acerca del espacio supuestamente vacío: a saber, que puesto que en él hay alguna extensión, hay también necesaria mente alguna sustancia. (Koyré, 1957)

Adicional para Descartes es imposible pensar en el establecimiento de límites para el mundo material y real. La idea de finitud del mundo presupone una contradicción; ya que no hay posibilidad de establecer un límite sin antes haberlo superado, lo que hace que Descartes asuma el mundo como indefinido ya que la idea de infinito únicamente es apta para hablar de Dios, por lo demás todo aquello que no podamos cuantificar será indeterminado.

En consecuencia se reconoce además que aquello que se ha denominado mundo y por ende todas las sustancias corpóreas son ilimitadas en su extensión. Razón por la cual Descartes afirma que donde se imaginen tales límites siempre se está pensando en algo existentes después del límite y algunos espacios indefinidamente extendidos e incluso es posible percibirlos como verdaderamente imaginables, esto es, como reales, conteniendo, por tanto, también en ellos la sustancia corpórea indefinidamente extensa. Esto es así porque la idea que tiene de extensión es la misma que se entiende o concibe de sustancia corpórea. (Koyré, 1957)

La anterior perspectiva traslada el problema filosófico de la distancia y tamaño de las estrellas fijas; si las estrellas son grandes, pequeñas, o cercanas, son problemas que deben ser abordados desde el campo de la astronomía mediante técnicas de observación e implementación de cálculos. Sin importar las distancias y los tamaños de las estrellas, estas son componentes de un universo lleno de una cantidad indeterminada de más estrellas.

De igual forma hablar de la constitución de las estrellas no es ahora un problema metafísico, ya no existe el problema de los dos mundos planteado por la organización aristotélica, tanto

el cielo como la Tierra están compuestas de una misma materia; por lo tanto el universo se rige por las mismas leyes indistintamente del lugar (Koyré, 1957)

De tal modo que la materia del cielo y la Tierra es un solo conjunto y por ende la misma sin la posibilidad mínima de pensar en la pluralidad de los dos mundos aristotélicos, al menos si se toma la palabra “mundo” en su pleno sentido, tal como lo emplea la tradición griega y medieval, refiriéndose a un todo completo y autosuficiente (Descartes, 2002).

Esto desvirtúa la idea de múltiples mundos y confirma la existencia de un solo mundo creado por Dios y constituido por la misma materia. La materia que conforma el universo es un conjunto de relaciones, de tal forma que la naturaleza no es caótica y por ende su organización permite su entendimiento y estudio, aun cuando no sea definida en su totalidad debido a la magnitud de su extensión.

Puesto que para Descartes la idea de infinito únicamente es atribuible a Dios, esta idea cumple un papel fundamental en la propuesta filosófica que plantea y es considerada como base fundamental del cartesianismo, por ende la idea de Dios es la base fundamental de la teoría que propone. En definitiva Dios únicamente puede ser un ser totalmente infinito, ya que bajo esta noción es que se hace posible demostrar su existencia, de tal forma que la humanidad es finita pero se le ha concedido el privilegio de la idea de Dios.

Nunca hemos de discutir acerca del infinito, sino que tan sólo se ha de considerar infinitas aquellas cosas a las que no encontramos límite alguno, como es la extensión del mundo, la divisibilidad de las partes de la materia, el número de estrellas, etc. (Koyré, 1957)

Problemas protagonistas hasta el momento como las disputas sobre el infinito y cuestionamientos como si hay una línea infinita ¿su mitad también lo será?, o si un número infinito se debe categorizar como par o impar, etc., carecen de sentido; si por alguna razón no podemos establecer límite a alguna situación, simplemente se asume como indefinida, el problema del infinito queda resuelto con la comprobación de la existencia de Dios (Koyré, 1957).

Por consiguiente en la práctica no es posible imaginar una extensión lo suficientemente grande de tal forma que no se pueda concebir algo mayor, en tal caso estamos frente a una

magnitud indefinida. Caso semejante al intentar dividir un cuerpo de tal forma que no se pueda pensar en una división menor, esto también es un caso de indefinición; de igual forma no es posible pensar en la cantidad de estrellas que Dios ha creado; por lo tanto no es posible definir dicha magnitud, al contar las estrellas, al igual que con los números avanzaremos sin llegar a su fin.

Todo lo anterior es denominado por Descartes como indefinido en lugar de infinito, en primera medida porque solo a Dios se le puede atribuir el concepto de infinito y porque estas cosas no muestran una claridad que nos permita encontrar un límite de ser posible este.

En consecuencia Descartes propone a Dios no solo como infinito sino como perfecto. Por su parte la creación aun cuando de forma aparente pareciera ilimitada, esto obedece a defectos de nuestro entendimiento y no a la naturaleza de la creación; por lo que Descartes propone que para evitar errores:

Hemos de observar atentamente dos cosas: la primera, que siempre tenemos presente que el poder de Dios y su bondad son infinitos, a fin de que ello nos haga comprender que no hemos de sentir ningún temor de equivocarnos imaginando demasiado grandes, demasiado hermosas o demasiado perfectas sus obras; antes bien, podemos equivocarnos si suponemos que existen en ellas fronteras o límites de los que no se tenga conocimiento cierto (Descartes, 2002).

Además propone que hemos de tener siempre presente que la capacidad de nuestra mente es muy mediocre y que no hemos de ser tan presuntuosos como parece que seríamos si supusiésemos que el universo tuviese límite alguno, sin estar seguros de ello por revelación divina o, cuando menos, por razones naturales muy evidentes; en efecto, eso significaría que deseamos que nuestros pensamientos sean capaces de imaginar algo más allá de aquello a lo que se ha extendido el propio poder de Dios al crear el mundo (Descartes, 2002).

Por consiguiente es posible que los límites que le atribuimos al mundo en medio de las observaciones sea consecuencia de las limitaciones de nuestra razón (Koyré, 1957). Lo anterior permite afirmar una actividad propia de Descartes al definir su universo uniforme y unificado, al comprobar la existencia de Dios mediante los razonamientos sobre el infinito, reconociendo sus limitaciones (asunto que permite la axiomatización de lo indefinido) y

razonando sobre la igualdad de la materia y lo que se define como espacio (bajo el término de la extensión).

Esta actividad implica un reconocimiento de los eventos del mundo y unas explicaciones que surgen con base en ellos. No existen en principio definiciones a priori, sino que, Descartes elabora una estructura de su propio pensamiento en congruencia con las experiencias que le son posibles gracias a sus sentidos (aun cuando la base de sus teorías no sea la experiencia sensible), matematizándolas y abstrayendo de tal forma que cada evento de la naturaleza sea claro y entendible para él y para quienes lo escuchen. Así el pensamiento cartesiano es un proceso, y la noción de espacio permite estructurar no solo el comportamiento de los cuerpos como partes de él y aun la idea del Dios que lo ha hecho posible.

La identidad de los cuerpos un análisis del movimiento según la perspectiva Leibniziana

En el presente apartado se pretende reconstruir la forma en que el ilustre Leibniz organiza, estructura y argumenta el fenómeno del movimiento con base en la noción filosófica de la monada³, como elemento base de la constitución del todo⁴, acorde a la armonía divina preestablecida. Aquí serán relevantes nociones como la extensión, el lugar⁵ y la posición como elementos activos; además de la idea de cuerpo como una organización particular de la extensión, donde el movimiento⁶ responde al principio de identidad⁷ en el cambio al intervenir fuerzas.

³ La monada a la que hace referencia Leibniz es una sustancia simple, esto quiere decir sin partes y por ende compone todas las demás sustancia incluida la extensión. (Leibniz G. , 1889)

⁴ El *todo* como la extensión creada por Dios que contiene y a su vez hace parte de todas las cosas que contempla el Dios creador que ha terminado su obra, ha terminado el mejor de los mundos posibles. (Koyré, 1957)

⁵ El lugar es el punto específico en el cual se sitúa una sustancia, es la esencia de cada punto y no puede ser compartido por otro y no puede ser idéntico a otro (Koyré, 1957)

⁶ El movimiento es entendido para Leibniz como un cambio de lugar, o una mutación y surge de la imposibilidad de que dos cuerpos ocupen un mismo lugar de forma simultánea; este movimiento es homogéneo y ordenado surgiendo así de una relación específica entre la extensión y el tiempo. Este es continuo ya que ninguna extensión puede pasar de un lugar a otro sin que tenga que pasar por *todos* y cada uno de los puntos intermedios. (Luna, 1994, pág. 235)

⁷El principio de la identidad de los indiscernibles, cuyo proponente fue Leibniz, como es bien sabido, dice que no hay ni es posible que haya en el universo dos cosas, o sustancias, que sean absolutamente iguales en

Apartados anteriores mencionamos que para Aristóteles un cuerpo que se desplaza sigue la dirección del lugar natural que corresponde a su materialidad para el caso del movimiento natural, en tanto que para mover un cuerpo de su lugar natural sería necesario ejercer violencia sobre él y el reposo del cualquier cuerpo será posible únicamente en su lugar natural; de tal forma que hay posibilidad de movimiento únicamente en la medida que se establezcan esos lugares naturales.

Por otra parte para Galileo el movimiento depende de la posición que ocupa un cuerpo con relación a un centro que lo atrae; así el desplazamiento por un plano inclinado, la oscilación de un péndulo, o la caída de un cuerpo, responden a la acción de atracción hacia un centro, sin embargo en este caso la materialidad no es un parámetro, tanto que aun el color, olor, sabor y aun la forma pueden dejarse de lado. Esto permite que se establezcan generalizaciones y la descripción de dichos movimientos sea posible mediante la abstracción de los cuerpos y su ubicación en un espacio matemático; este espacio es homogéneo y por ende cualquier ubicación tendrá las mismas propiedades, así todos los fenómenos se pueden organizar mediante reglas matemáticas que se dan en la naturaleza.

Las dos referencias anteriores cobran sentido en este apartado al querer contrastar la visión leibniziana del movimiento y la forma en que se organizan los fenómenos (particularmente el movimiento) a partir de dicha propuesta filosófica. En congruencia con lo anterior se describirá una situación que asocia el movimiento de los cuerpos en la extensión (espacio propuesto por Leibniz) y la estructura que cobra dicho fenómeno de acuerdo a las características particulares que toman los cuerpos en interacción y sus ubicaciones en dicha extensión.

En esta descripción saldrá a luz el protagonismo de las fuerzas⁸ como agentes generadores de movimiento y la monada como elemento constitutivo y además articulador de todo lo

todas sus propiedades. Afirmar Leibniz en su Discurso de metafísica que no sería posible que dos sustancias se parezcan enteramente y sean diferentes sólo número, además afirma que no existe en la naturaleza dos seres reales y absolutos que sean indistinguibles, o que no se puedan diferenciar entre sí (Leibniz G. , 1889)

⁸ La fuerza según Leibniz va más allá de lo sensible, esta genera cambios y está estrechamente relacionada con la descripción y la posibilidad del moviente ya que establece qué ocurrió y qué ocurrirá con un cuerpo que se moviliza. (Luna, 1994, pág. 239)

existente. Se propone por lo anterior realizar la descripción y el análisis de un cuerpo que es desplazado de un punto A, a un punto B de tal forma que en medio de la descripción surjan algunos elementos relevantes de la propuesta leibniziana indispensables en el momento de organizar el fenómeno.

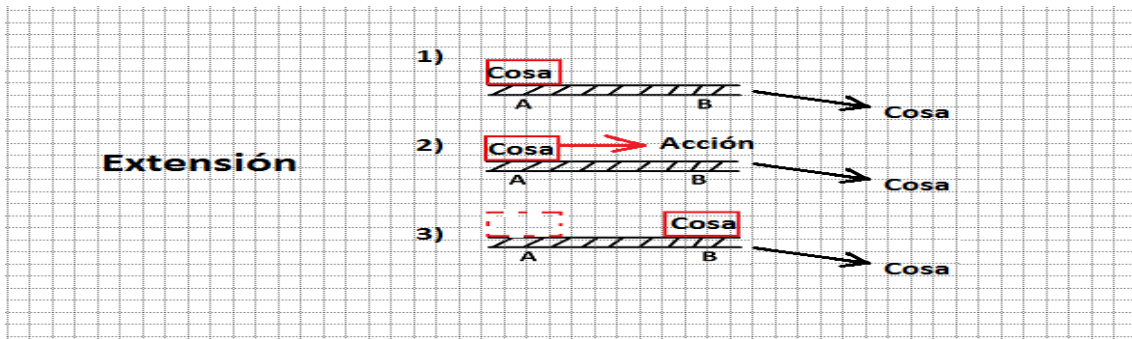


Ilustración 1. Movimiento de un cuerpo del punto A al punto B aplicando una fuerza derivativa (Fuente: Elaboración propia)

Para este caso tenemos una *sustancia compuesta (cuerpo)*, ubicado en el punto A, al cual se le aplica una fuerza que lo desplaza hasta el punto B. aquí es importante preguntarse ¿Cuáles son todos los elementos emergente que dan cuenta del movimiento del cuerpo durante su recorrido desde el aparente reposo inicial, en el momento que inicia la acción de las fuerzas sobre él, hasta el momento en que llega a un reposo aparente final? A fin de dar respuesta a dicho interrogante desglosemos el evento (desplazamiento horizontal) procurando reconstruir la propuesta conceptual de Leibniz.

Como se propone en los principios metafísicos de Leibniz, es de acuerdo a las percepciones de las monadas que el movimiento es organizado pues el universo está constituido de infinitud de estos elementos (metafísicos) independientes, estas difieren completamente unas de las otras, aun cuando cada una de ellas poseen todas las características posibles y es solo mediante los que se denomina como niveles de percepción⁹ que se distinguen de acuerdo a

⁹ Otra de las características primordiales de las mónadas propuesta por Leibniz es su eternidad; esto es, la mónada no muere, sino que cambia su percepción y este cambio es denominado "apetición", como lo explica en Principios de la naturaleza y de la gracia:

Una mónada, en sí misma y en el momento, no puede ser discernida de otra sino sólo por las cualidades y acciones internas, las cuales no pueden ser otra cosa que sus percepciones -es decir, las representaciones de lo compuesto o lo que está fuera, en lo simple- y sus peticiones -es decir, tendencias de una percepción a otra- que son los principios del cambio. Porque la simplicidad de la substancia no es obstáculo a la multiplicidad de las modificaciones, que deben hallarse juntas en la misma substancia simple y deben consistir en la variedad de las relaciones con las cosas que está fuera. (Leibniz G. , 1889)

su grado de actividad, de tal forma que cada mónada representa o refleja las cosas de manera diferente según su percepción.

Puesto que en este análisis se propone el movimiento de un cuerpo que no tiene movilidad propia sino que debe ser movido, este corresponde a lo que Leibniz denomina materia inerte, el cual según la jerarquización¹⁰ que Leibniz está compuesto de monadas que tienen una percepción débil en el momento de accionar, o reflejar; es decir, van a maniobrar de una manera en particular pues este conjunto de mónadas no va a poder disponer el desplazamiento que harán, pues este estará preestablecido por la acción externa que se ejerza sobre él, a menos que algo externo se lo impida y(o) cambie su forma de accionar o las condiciones del cuerpo que los sostiene cambien y por ende acciones adicionales de la naturaleza afecten su desplazamiento (para este caso la superficie es rígida e indeformable, no hay posibilidad de un evento de caída o movimientos verticales).



Ilustración 2. Esquema de composición del cuerpo y el entorno como cuerpo compuesto por monadas (Fuente: tomado de <http://selenitaconsciente.com/?p=184361>)

Este evento está ubicado en la extensión que resulta ser un cuerpo, por lo tanto responde a su vez a la composición de monadas (estas son infinitas), la noción de monada como constitutivo del todo y por ende de la extensión deja de lado la posibilidad de pensar en el vacío, en toda la extensión hay monadas con diferentes percepciones y estas únicamente reflejan de forma distinta. La extensión interactúa con los cuerpos que están al interior de acuerdo a las

¹⁰ Leibniz propone que aun cuando las monadas poseen todas las cualidades existe algo que permite que se diferencien El estado pasajero que encierra y representa una variedad en la unidad o en la sustancia simple, no es sino lo que se llama percepción (Leibniz G. , 1889, pág. 12)

percepciones de las monadas que los componen ya que los cuerpos son una extensión particular dentro de la extensión.

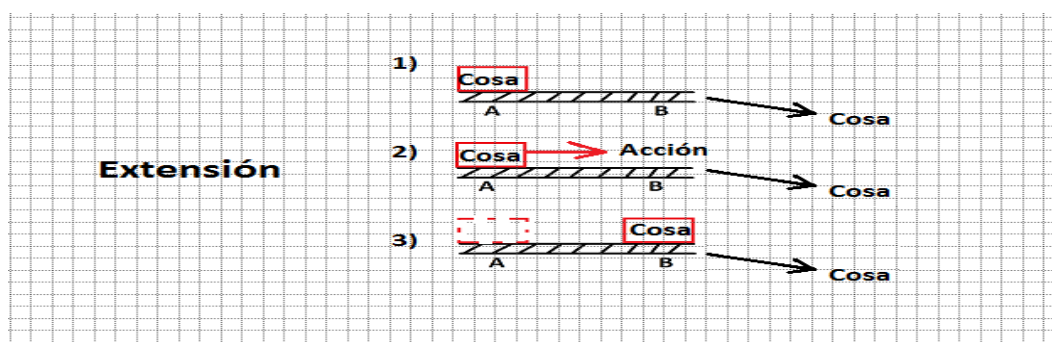


Ilustración 3: La extensión un cuerpo contenedor de cuerpos (Fuente: Elaboración propia)

El anterior diagrama tiene la finalidad únicamente de ilustrar la forma en que se podría interpretar el *reflejo* de las percepciones de las *monadas* para el caso del movimiento de un cuerpo (cosa), sobre una superficie (cosa) de un lugar a otro de la extensión, en congruencia con la relatividad y continuidad¹¹ de dicha extensión como agente que permite ordenar las cosas de forma simultánea de acuerdo a la concepción de tiempo expuesta por Leibniz como una idea que surge de relaciones entre cuerpos (formas de extensión).

Como se menciona en el párrafo anterior la idea de la gráfica es ilustrativa y hace alusión en la medida de lo posible de las cualidades que permiten el análisis. En primera medida la palabra extensión se ubica sobre una cuadrícula con la intención de proponer una estructura organizada y además continua (Otálora, 1989, ya que no hay espacio entre cuadros, no se sabe en qué lugar termina un cuadro (representativo de la monada) e inicia el otro acorde a

¹¹ Diremos que estamos ante una ocurrencia de la ley de continuidad si y solo si se produce al menos uno de los siguientes casos:

- A. Contiene al menos una de las denominaciones “Ley de continuidad” , “Principio de continuidad” o Axioma de continuidad
- B. Contiene una de las siguientes proposiciones
 - a. No hay tránsito por saltos
 - b. La naturaleza no actúa por saltos
 - c. No hay mutaciones por saltos
 - d. No hay cambios instantáneos
 - e. Las reproducciones no se hacen por saltos
 - f. La naturaleza impide la discontinuación (Luna, 1994, pág. 113)

Los anteriores son parámetros fijados para la comprensión de la naturaleza, en los cuales se reafirma la postura de Leibniz con relación al vacío y la continuidad de todos los hechos perceptibles, pues no hay eventos aislados e inconexos, no hay posibilidad de vacío pues la extensión es un cuerpo continuo que contiene otros cuerpos igualmente continuos o extensos.

lo propuesto por Leibniz; sin embargo es de aclarar que todos los cuadros deben asumirse como diferentes con relación a cualidades y no a la forma (puesto que las monadas no tienen una forma o tamaño), además el hecho de ver una cuadrícula que no tiene límites o no cierran los cuadros es por la infinitud de la extensión y se está ilustrando solo una pequeña parte de la extensión como un reflejo de la percepción de las monadas.

Adicional en el gráfico se presenta la palabra cosa, que según la perspectiva leibniziana es una forma de extensión que se ordena de forma simultánea dentro de la extensión (Otálora, 1989) estas están compuestas de monadas al igual que la extensión y por lo tanto son extensas. Estas cosas (cuerpos) al igual que el cuerpo que las contiene (extensión) difieren de su forma por las percepciones que reflejan las monadas que las componen, es así que aun cuando todo lo que se presenta en el gráfico está compuesto de monadas, cada una de ellas se comporta de forma diferente de acuerdo a las ordenes preestablecidas por la monada increada (Dios); en términos más sencillos, esas órdenes preestablecidas son las que permiten que percibamos las cosas con distintas formas, tamaños, colores, olores, texturas, etc. (Luna Alcoba, 1994)

En el gráfico también se presenta una flecha de color rojo etiquetada como acción (fuerza) que será la encargada de proponer otro tipo de interacción entre las monadas hasta tal punto que el objeto se ubique en otro lugar, cuando se menciona otro tipo de interacciones se debe a que de acuerdo a lo que postula Leibniz, la extensión tiene una actividad constante ya que está compuesta por monadas y estas están en constante interacción debido al nivel de percepción que posean u órdenes preestablecidas que las rijan según sea la situación. Por tal razón la noción de reposo no es válida para esta perspectiva, el aparente reposo es solo un reflejo de las percepciones entre monadas, pero en realidad siempre hay interacción entre las mismas.

Finalmente se proponen tres momentos particulares en los cuales se hará énfasis a fin de organizar el fenómeno de movimiento; en el cual uno de los cuerpos (extensión) se desplaza desde el punto A (lugar) hasta el punto B (lugar) sobre otro cuerpo (extensión) superficie debido a una *fuerza derivativa* protagónica. Se hace la salvedad de protagónica porque dentro del reflejo de las percepciones entre monadas existen siempre *fuerzas primitivas*

inherentes a cualquier fenómeno o situación e independientes al cambio perceptible de los reflejos de las percepciones de las monadas, esto según la propuesta de Leibniz.

En congruencia con lo que se menciona con anterioridad es necesario afirmar que el espacio se propone como algo ideal, con una existencia relacional e inherente con la existencia misma de los cuerpos, en estos términos no hay posibilidad de hablar de espacio si se argumenta la ausencia de los cuerpos, esto en congruencia con el principio de continuidad (Leibniz G. , 1889)

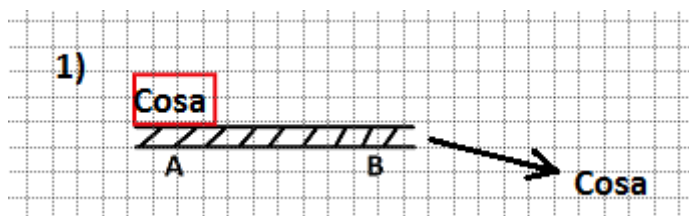


Ilustración 4. Espacio continuo (Fuente: Elaboración propia)

Retomando el primer momento analicemos el comportamiento y la organización de los cuerpos, además de la noción de reposo que comúnmente se maneja en contraste con lo que propone Leibniz. Aquí hay tres cuerpos (extensiones) que interactúan, el medio (extensión o lugar donde ubico todos los cuerpos), el cuerpo que se moviliza desde el lugar A hasta el lugar B y la superficie (cuerpo) sobre el cual se realiza el desplazamiento. En este primer momento se puede dar cuenta de las ordenes preestablecidas que las monadas que componen cada cuerpo poseen, cada cuerpo es posible diferenciarlo pues no hay posibilidad que dos monadas ocupen un mismo lugar de forma simultánea, en otras palabras pueden estar ubicadas en la misma extensión pero no en el mismo lugar, esto de acuerdo al principio de “impenetrabilidad” en términos de Leibniz el principio de los indiscernibles (Leibniz G. , 1710)

Para aclarar la cuestión de las ordenes preestablecidas se enuncia lo siguiente; el cuerpo que se encuentra en sobre la superficie refleja de acuerdo a sus percepciones ser rojo, rectangular y sólido, esto obedece a que de todas las cualidades que posee la monada la orden preestablecida es reflejar las que permiten que observemos las característica que se acaban de mencionar; además las monadas dentro de sus órdenes preestablecidas reconocen la extensión (plataforma) que impide su paso natural hacia abajo, de tal modo que su

comportamiento está limitado por esto, de igual forma el cuerpo (extensión) plataforma, está compuesto por monadas que “saben” que deben sostener la caja e impedir su paso hacia abajo, en otros términos, cada monada sabe cómo se debe comportar en cada situación y por esta interacción constante es que no se admite la idea de reposo, pues aun cuando aparentemente la el cuerpo está quieto sobre la plataforma y la plataforma esta inmóvil, las monadas están en constante interacción de acuerdo a sus órdenes preestablecidas.

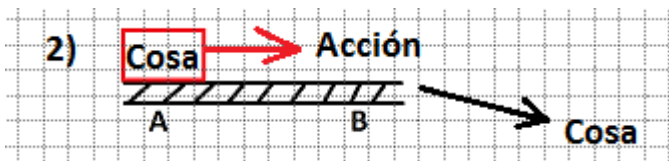


Ilustración 5: Fuerza primitiva y fuerza derivativa (Fuente: Elaboración propia)

En el segundo momento se reconocen dos elementos adicionales, *las fuerzas vivas* y *las fuerzas muertas*, la fuerza viva está relacionada en el esquema con la flecha roja o la acción que se ejerce a fin de que el cuerpo se mueva sobre la superficie, las fuerzas muertas son todas aquellas que por interacción de monadas impiden la movilidad como se representaba en el diagrama anterior, aquí las monadas reaccionan de acuerdo a las cualidades preestablecidas, en el caso de las monadas de la plataforma al igual que las monadas del aire (pues nunca se ha despreciado) oponen resistencia al movimiento, en tanto que las monadas de la caja inician un intercambio de lugares con monadas de la extensión que contiene todo el sistema plataforma-caja solo cuando la acción violenta (fuerza viva) es suficiente para contrarrestar las fuerzas muertas.

Finalmente en el momento tres, la acción de la fuerza viva ha desplazado la caja hasta el punto B, las monadas de la caja han cambiado de lugar, y el espacio que ocupaban ahora lo ocupa otro tipo de monadas, al cesar la fuerza viva cobra protagonismo nuevamente la fuerza muerta y el movimiento perceptible a la vista desaparece, las monadas se disponen nuevamente en el aparente reposo y la interacción o percepciones no son visibles.

Para cerrar el análisis cabe la posibilidad de establecer la medida de la extensión, pero esto solo es posible mediante la noción de sitio que propone Leibniz, este es la medida de la extensión que concreta el fenómeno y ya que se habla de un cuerpo en movimiento horizontal; esa organización o conjunto de mónadas compondrán el cuerpo que a su vez

ocupa una cantidad de lugares en el espacio (es esto lo que Leibniz denomina el sitio). De esta forma es posible hablar del espacio en términos de la posición únicamente cuando la sustancia se relaciona con el sitio; pues, es la posición la que diferencia los lugares en los que se encuentra cada mónada.

Esto demarca la organización de las monadas, aquellas que se perciben como sustancias o cuerpos que se movilizan de acuerdo a las órdenes preestablecidas y las que se presentan a manera de colores, formas, texturas, etc. Y aquellas que no son visibles ya que sus percepciones responden a esta indicación preestablecida de “invisibilidad” como son las mónadas que conforman el aire (Leibniz G. , 1889).

El tiempo por lo tanto es una noción construida que relaciona todos los cuerpos, donde la simultaneidad solo es posible con cuerpos diferentes en lugares diferentes y muy parecido a la perspectiva aristotélica, el tiempo se mide de acuerdo a las relaciones entre cuerpos, esta es una afirmación final de la propuesta de continuidad leibniziana; pues sin objetos no hay posibilidad de tiempo, pues para medir el tiempo se habla del instante en el que el cuerpo dure en dicho lugar, sitio y posición; no es admisible la idea de tiempo y mucho menos el transcurso del mismo, si no hay un cuerpo que cambie de posición (Luna, 1994, págs. 189-203), en esta medida el espacio resulta ser el elemento que estructura toda la propuesta leibniziana con relación a los fenómenos físicos, pues es la posibilidad misma de situar, organizar y analizar cada elemento (cuerpo – tiempo) con relación al cambio (Koyré, 1957).

A propósito del por qué y el cómo suceden los eventos

Partiendo del análisis de cada uno de los argumentos filosóficos postulados hasta este momento, es posible reconocer la idea de cuerpo y movimiento como elementos que cruzan el análisis de forma inherente cada una de las organizaciones que Aristóteles, Galileo Galilei, René Descartes y Gottfried Leibniz postulan.

Para Aristóteles los cuerpos tienen una tendencia que responde a su naturaleza y es gracias a esta tendencia que se hace posible cualificar el espacio aristotélico en función de su movimiento, pues tanto movimientos naturales como violentos responden a la idea de perfección, siendo esta una posición particular de los cuerpos con respecto a sus lugares

naturales lo que da respuesta al por qué se mueven los cuerpos. Por lo tanto en ausencia de cuerpos no sólo es imposible hablar de movimiento sino de lugar y bajo la perspectiva aristotélica tampoco sería posible hablar de temporalidad ya que esta es una medida del movimiento.

Guardadas las proporciones es posible pensar en un Leibniz que da cuenta de forma similar a Aristóteles al por qué se mueven los cuerpos, en esta visión tanto los cuerpos, como las percepciones de sus componentes que se traducen en movimiento, resultan relevantes para comprender la forma en que se organiza y se constituye el espacio leibniziano (extensión); pues muy del corte aristotélico, pensar en un lugar sin cuerpos carece de sentido. La extensión por lo tanto concebida como un cuerpo, es descrita a partir de extensiones en movimiento y de forma intrínseca surge la noción de temporalidad como una relación entre lo extenso; por lo tanto la organización de cualquier fenómeno requiere pensar y caracterizar las nociones de cuerpo y de movimiento.

Para el caso de René Descartes y Galileo Galilei, aunque sus preocupaciones no giran en torno al por qué suceden las cosas, sino que se mueven en el plano de la descripción de cómo suceden; tanto los cuerpos como la forma en que se mueven responden al lugar (espacio) que se ha organizado, de tal modo que sea coherente lo que sucede (experiencia) con lo que se pueda generalizar. Aquí los cuerpos son idealizados ya que hay unas percepciones y unos sentidos que nos limitan, o en términos cartesianos nos engañan; siendo necesario pensar en cuerpos que permitan enfocar la mirada en lugares delimitados, pues resulta complicado dar cuenta de todo lo que sucede.

En esta medida, la constitución del espacio para estos dos personajes requiere tanto de la idea de cuerpos y por ende de su organización pero además del movimiento como forma de interacción entre los mismos, sin embargo pese a que tanto Galileo como Descartes se mueven en el plano de la descripción y por ende en un mundo reinante de las ideas y las generalizaciones, para dar cuenta de la organización de eventos particulares como el movimiento, difieren un poco, ya que para Descartes el movimiento consiste en la interacción constante entre cuerpos y por ende la imposibilidad del vacío; en tanto que Galileo si concibe la idea de vacío y más aún, esta idea es la que permite llegar a generalizaciones en torno al movimiento de todos los cuerpos.

Sin embargo pese a las diferencias que se presentan entre Descartes y Galileo, o las similitudes que se vislumbran entre el pensamiento aristotélico y leibniciano, o la disparidad entre los dos tipos de preguntas que se generan de acuerdo a las distintas perspectivas (el cómo y el por qué) que intentan dar cuenta de los distintos fenómenos; las nociones de cuerpo y de movimiento son relevantes para todos los autores; en la constitución, organización y argumentación de las nociones espaciotemporales que rigen los fenómenos físicos que pretenden exponer en cada una de sus propuestas filosóficas.

Un análisis de la propuesta de construcción del conocimiento según Immanuel Kant y la formación del pensamiento físico desde la perspectiva de Jean Piaget

Una propuesta de organización y percepción del fenómeno según Kant

Para dar inicio a este análisis se hace necesaria una pequeña comparación (guardadas las proporciones) entre Kant y Aristóteles, donde para Aristóteles la realidad es un compuesto de materia y forma, además el conocimiento es el proceso con el que la mente abstrae la forma de la realidad, donde la forma es algo que pertenece a la realidad, a la cosa real y que el sujeto mediante su conocimiento descubre (Aristóteles, Siglo IV, traducción 1995). Pero Kant se presenta con la noción del pensamiento, propone que la realidad o Noúmeno que nos es dado en los sentidos es un conjunto caótico disperso e inconexo de impresiones (materia), la forma por lo tanto tendrá que provenir de otra fuente (las estructuras a priori del sujeto) (Kant, 1928); la forma ya no es como en Aristóteles algo de la realidad que el sujeto descubre, sino que pasa a ser algo del sujeto que el sujeto pone en el conocimiento, la universalidad y necesidad del conocimiento pasarán a estar fundadas en estas estructuras a priori independientes de la experiencia, que el sujeto posee en sí mismo; por lo anterior es posible afirmar que para Kant el conocimiento es una síntesis entre dos elementos; uno lo que recibimos a través de las impresiones sensibles (la materia) y segundo lo que nuestra propia facultad de conocer aporta desde sí misma (la forma).

De tal modo que una vez que se reconoce que la forma la aporta el sujeto Kant va a pasar a distinguir tres niveles de formalidad dentro del mismo sujeto, esto lo propones desde los tres apartados de su obra *La crítica a la razón pura, la estética trascendental, la analítica trascendental y la dialéctica trascendental* (esta no es objetivo preponderante en este

análisis); estos son capítulos dentro de la obra. La estética trascendental se ocupa del nivel de la *sensibilidad*, la analítica trascendental se ocupa del *entendimiento* y la dialéctica trascendental se ocupa de lo que Kant propone como la *razón*.

En cada uno de estos niveles de conocimiento debe hacerse la distinción entre la materia que es portada por las impresiones sensibles y la forma que es aportada por el sujeto; en tanto que en cada uno de estos niveles la forma que aporta el sujeto va a ser distinta, claro está que se debe destacar que para Kant únicamente hay conocimiento en el encuentro entre materia y forma, es decir entre el encuentro entre experiencia y razón. Esto es importante en la medida que ni la experiencia sola, ni la razón sola constituyen conocimiento.

Dentro de las formas de conocimiento propuestas por Kant es necesario mencionar el tratamiento que se da a la sensibilidad en el apartado de la estética trascendental, siendo la sensibilidad todas las formas o modos de percibir mediante los sentidos. La estética trascendental es pues un estudio de las condiciones de posibilidad del conocimiento sensible y en la medida en que se habla de conocimiento debe haber algo que aporte a las impresiones sensibles (la materia) y debe haber algo que aporte al sujeto (la forma).

¿Pero qué aporta el sujeto en este nivel? En este nivel Kant propone dos formas o intuiciones puras, en estas formas no hay nada que pertenezca a la sensación y su única finalidad es estructurar las impresiones caóticas y múltiples que se reciben por los sentidos; estas formas son el *espacio* y el *tiempo* que se encuentran a priori en el espíritu humano y que subyacen a toda impresión sensible. El espacio y el tiempo son las formas generales de toda intuición sensible, sin las cuales no sería posible representar nada, pues todo lo que se nos presenta sensiblemente se nos presenta bajo la forma del espacio y el tiempo por esto es que se proponen como las condiciones trascendentales de la sensibilidad, ya que sin ellas no podríamos percibir nada, siendo así las condiciones sin las cuales no es posible el conocimiento sensible, pero no son elementos que se pueden encontrar en la realidad, y tampoco expresan relaciones entre cosas; sino que son formas que residen en el sujeto como las formas a priori del conocimiento sensible, de tal forma que no están en la realidad sin que estén en el sujeto.

Que estas nociones sean a priori quiere decir que el sujeto no adquiere las nociones del espacio y el tiempo por la experiencia, sino que por decirlo de alguna manera es como que ya vienen en la estructura del pensamiento del sujeto anterior a cualquier experiencia, estas no pueden depender de la experiencia, pues es la experiencia la que depende totalmente de estas dos formas (espacio y tiempo) por lo tanto aparte del espacio y del tiempo no se puede percibir nada, de tal modo que no hay conocimiento sensible fuera del espacio y el tiempo pero tampoco es posible que el sujeto perciba el espacio y el tiempo sino que son aquellas condiciones sin las cuales el sujeto no puede percibir nada; siendo una especie de marcos de la sensibilidad como un contorno o perspectiva previa, una especie de instrumentos por medio de las cuales se hace posible mirar el mundo.

Guardadas las proporciones, pero con el ánimo de ilustrar la forma en que es propuesto el espacio y el tiempo Kantiano, es posible proponer estas dos formas como la parte análoga de una computadora, pues lejos de ser algo del mundo, es como un software del sujeto que actúa unificando y estructurando los “datos” que proporcionan los sentidos, en términos estrictamente kantianos, son el horizonte general desde el cual se representan todos los objetos al nivel de la experiencia sensible (Kant, 1928); se hallan en el espíritu del sujeto con anterioridad a cualquier percepción de tal modo que fuera de ellos el sujeto no puede percibir nada, siendo así las formas o modos de recibir los fenómenos.

Es así que recibimos los fenómenos según las formas del espacio y del tiempo; para Kant este es el nivel del cual se encargan las matemáticas, pues las dos ramas geometría y aritmética se encargan del estudio del espacio y del tiempo. Al demostrar que estas formas de la sensibilidad se pueden aplicar a las intuiciones sensibles Kant establece la matemática como una ciencia, de tal forma que esta aporta conocimiento universal y necesario.

Ahora es necesario dar una breve mirada a la forma en que Kant presenta el entendimiento mediante la analítica trascendental, pues hay un paso entre el conocimiento sensible y el intelectual, entonces en la analítica trascendental Kant propone indaga sobre qué es aquello que en el conocimiento proviene únicamente del entendimiento, en otros términos, cuál es la forma como el entendimiento piensa los objetos. En este nivel Kant propone los niveles o categorías que integran en una unidad superior la multiplicidad de fenómenos descubiertos en el nivel de la sensibilidad; pues ya en el primer nivel se proponía una primera organización

de las múltiples, diversas y caóticas intuiciones sensibles bajo las formas del espacio y del tiempo.

Ahora es necesaria una segunda unificación bajo las formas del entendimiento (las categorías siendo estas dos organizaciones necesarias para llegar a un pleno conocimiento. Entonces ¿cuáles serán esas categorías con las cuales el entendimiento piensa los objetos? Aquí Kant a partir de los diferentes juicios que el entendimiento puede hacer propone catorce categorías por medio de las cuales dará cuenta de la segunda forma de organización que lo llevará al pleno conocimiento, estas son: unidad, pluralidad, totalidad, realidad, negación, limitación, sustancia, accidentes, causalidad, acción, pasión, posibilidad, existencia y necesidad.

Estas formas o categorías son puras, esto quiere decir que no tienen ningún contenido empírico, son por lo tanto conceptos independientes de los datos de la sensibilidad, pues no se obtienen a partir de la experiencia, sino que vienen incorporados en el espíritu humano y por ser conceptos a priori que residen en el sujeto poseen universalidad y necesidad, y pueden trasladar estas características al objeto de conocimiento. Esto es lo que permite en este nivel concluir que la física también es una ciencia puesto que es la disciplina que aplica estos conceptos o categorías a las intuiciones empíricas, sin embargo, es necesario enfatizar que las categorías no son algo de la realidad, no nos dicen ninguna propiedad de las cosas en sí que desconocemos, sino que son algo del sujeto. De la misma manera que las formas del espacio y el tiempo constituyen las herramientas subjetivas con las que el sujeto conoce.

En esta medida, la sustancia por ejemplo no es algo que exista en lo real, sino que es una manera, o estructura que sirve a la mente para interpretar y pensar los datos caóticos y múltiples de la experiencia sensible. Por lo anterior la unidad y la forma de los objetos no tienen origen en las cosas mismas que son desconocidas al sujeto, sino en el sujeto; es el sujeto el que impone a los objetos sus propias estructuras o leyes a priori caracterizadas en el nivel de la sensibilidad por las formas del espacio y del tiempo y en el nivel del entendimiento por las formas o categorías.

Por consiguiente, las categorías no son la causa del ser de los objetos ya que el espíritu humano no es un espíritu creador, siendo necesaria la distinción entre el fenómeno (lo que se conoce) y el *noúmeno* como aquella realidad en sí, que desconocemos pero que en parte es

causa del conocimiento del sujeto y es que sin esta distinción que establece la existencia de algo desconocido de lo que el sujeto no es causa, la línea que separa el espíritu humano del espíritu divino sería demasiado fina (Kant, 1928); por esto es posible afirmar que las categorías son causa no del ser (de los objetos), sino del modo en el que los objetos se nos presentan, en la medida en que puedan ser pensados. Así para poder pensar los datos de la sensibilidad el espíritu del sujeto necesita ordenarlos bajo las categorías y estas únicamente puede proporcionar conocimiento al sujeto en la medida que se relacionen con los datos de la experiencia; pues solo hay conocimiento en el encuentro entre las categorías del entendimiento y las intuiciones empíricas.

Finalmente, el pensamiento expuesto anteriormente antepone la importancia de los conceptos espacio y tiempo bajo el interés de analizar el mundo sensible, si bien estos se proponen como ideas, estas son estructuradoras del pensamiento científicos particularmente de la física, pues se hacen necesaria y además indispensables en el estudio de las formas del cómo se presenta el mundo o la realidad al sujeto. por otra parte, aun cuando Kant no propone el análisis de ningún fenómeno en particular, si propone las formas de pensamiento y la estructura de los fenómenos por medio de las categorías del entendimiento, pero todo en el marco de las intuiciones puras (espacio y tiempo)

El pensamiento físico una actividad de formalización de la experiencia

En este capítulo encontraremos en primera medida las diferencias y relaciones de la acción física y de la acción matemática implícitas y derivadas de la actividad del sujeto en el proceso de formalización del pensamiento físico, además el papel de la experiencia y la ubicación de la teoría; el establecimiento de las relaciones espacio-temporales (diferenciaciones entre espacio físico y espacio matemático); las acciones del sujeto; los procesos de asimilación, abstracción y coordinación entre acciones del sujeto; el proceso de formación de los conceptos físicos; la experiencia y su lectura; el origen, enfoque y construcción del pensamiento físico y las relaciones que permiten asociar las teorías de forma congruente con la realidad.

Pensamiento físico y el pensamiento matemático

Piaget propone el pensamiento físico y el pensamiento matemático como dos ideas separadas pero no necesariamente desvinculadas, por el contrario existe una vinculación entre los dos; el primero alusivo a la experiencia y el segundo a la razón, por lo que de forma inherente se relaciona la razón con la experiencia en lo que se va a proponer como conocimiento físico. Es importante mencionar que para las matemáticas no resulta indispensable la experiencia como sustento de los razonamientos proporcionados por la lógica, los eventos ideales propuestos en este marco no requieren de una experiencia que valide o desvirtúe dicha modelación, diferente a lo propuesto desde la física en donde la preocupación estará dada en función de una concordancia entre la teoría y la realidad asociada a la experiencia.

En la búsqueda de esa concordancia las teorías asociadas a una experiencia son cada vez más refinadas y sólidas, pero el problema es que se va sustituyendo la realidad en la medida que las teorías avanzan o se formalizan; en términos de Piaget las teorías físicas estarían retrocediendo en la medida que sus formalismos las reducen a tautologías o cánones matemáticos (Piaget, 1970). En estos términos resulta la necesidad de establecer un límite entre la física y las matemáticas para aclarar que estos dos tipos de abordajes y la construcción de sus formas particulares de pensamiento no son las mismas; por una parte existe una experiencia física y por otra unas construcciones matemáticas que no siempre dan cuenta de la experiencia real.

En el marco de esta diferenciación, la física aborda la geometría del espacio real (geometría física) y paralelo a esto la matemática propone una geometría axiomática, esta es producto de la deducción y las generalizaciones (Piaget, 1970). La articulación de estas dos permite establecer una noción de espacio, esto permite indagar sobre las relaciones entre los objetos, dando lugar al establecimiento de un espacio geométrico real, en correlación con lo axiomático y deductivo del cual daría cuenta el pensamiento físico.

Bajo las anteriores especificaciones, la caracterización del espacio real estará vinculada a las nociones de cuerpo, velocidad y masa; correspondiendo a la geometría física pero un poco alejado de las matemáticas (Piaget, 1970). En estos términos podríamos afirmar que la Mecánica estaría incluida en el marco de la axiomatización y lo formal concerniente a las matemáticas, proponiendo situaciones únicas y generalizadas, que están lejos de la realidad

sumergida en el marco del azar y la probabilidad de múltiples hechos dotados de irregularidad y poco orden.

Como consecuencia Piaget propone que en ninguna circunstancia la teoría puede anteponer a la experiencia, aun cuando esta permita la propuesta y producción de instrumentos adecuados para las distintas situaciones que se presentan en la experiencia, pero que no ubican la teoría a la base y la experiencia posterior a dichas formulaciones. En estos términos la instrumentalización es una necesidad que surge de la experiencia, esta demanda de una precisión cada vez mayor y la labor de la teoría responderán a esta nueva necesidad propuesta desde la experimentación (Piaget, 1970).

Como respuesta a lo anterior el pensamiento físico va a ser la asimilación de lo real con lo matemático, mediante esquemas operatorios propios del sujeto; este pensamiento nos va permitir llegar a generalidades empleando construcciones deductivas, validas, que concuerden de forma coherente con la experiencia del sujeto, este interactúa con el objeto afrontando realidades cada vez más complejas, además afronta las dificultades que se presentan en el proceso de asimilación de las generalidades que se van construyendo.

En estos términos el pensamiento físico surge a partir de dos puntos de vista generales, que serían; el operacional matemático (producto de las deducciones lógicas) y la experiencia (particularmente intencionadas) como tal del sujeto. En congruencia el sujeto estará en contacto con la realidad, pero más aún ejerce una acción (como experimentador) sobre ella, y en medio de esta se da una adaptación inherente (correlacional no aislada) del pensamiento al objeto material; esto propone la aceptación de que las proposiciones matemáticas surgen de nosotros como sujetos, en busca de generalidades que se oponen a lo particular que diferencia cada objeto.

Por lo cual, las matemáticas posibilitan al sujeto generalizar aquello que es de mayor interés (en cuanto al objeto) y sobre todo abstraer. Estas abstracciones de los objetos son producto de las interacciones o relaciones que puede establecer él mismo entre objetos, abstrayendo sus propiedades como datos físicos, siendo estos opuestos a lo particular que si permite la diferenciación entre los objetos.

Bajo los anteriores parámetros el tiempo, la velocidad y la fuerza son propuestas por Piaget como nociones especializadas, estas deben estar coordinadas entre sí y constituyen generalizaciones, estas son ideas físicas establecidas mediante coordinaciones matemáticas; donde los conceptos cinemáticos y mecánicos como el Tiempo y el Espacio son producto de relaciones entre los objetos (Piaget, 1970).

Si el pensamiento físico propone una relación entre la experiencia y el producto de las matemáticas (como formalizaciones y generalizaciones de un objeto), surge la necesidad de reconocer las características del espacio físico y otro espacio matemático. Por una parte el espacio físico es asociado al tiempo y se establece por relaciones necesariamente de los objetos mediante la velocidad, puedo hablar de un espacio físico en la medida que hay objetos que tienen distintas velocidades y me permiten establecer una relación entre el espacio y el tiempo.

Este espacio físico asocia puntos de referencia que aun cuando no sean formalismos dan cuenta de experiencia del sujeto, el sujeto no requiere de una formalización del movimiento para dar cuenta de objetos que se movilizan en el espacio físico a distintas velocidades, asociando mayores o menores movimientos en función del tiempo. Contrario a este el espacio matemático es completamente independiente al tiempo y por ende también independiente de la velocidad o de los objetos.

Este espacio matemático se puede caracterizar sin necesidad de los objetos o relaciones entre ellos, este se constituye simplemente como un marco que en algún momento me permitiría establecer relaciones entre objetos; pero estos objetos necesariamente deben ser abstracciones de cuerpos materiales y aun en la ausencia de estas abstracciones (cuerpos) puedo hablar del espacio; contrario al espacio físico que requiere de los objetos y se constituye de las relaciones entre ellos.

En el espacio matemático como no se requiere de cuerpos que correspondan a diferentes velocidades como magnitud física, tampoco requiere de un tiempo. Así este tiempo es indispensable para el espacio físico, ya que da cuenta de los cambios del objeto en instantes determinados asociados con velocidades diferentes y estos van a ser necesariamente asociados a medidas temporales, estas medidas corresponden a su vez a posiciones

determinadas que vinculan puntos de referencia que diferencian los objetos dentro de un espacio físico.

En estos términos Piaget propone la velocidad y el tiempo como de carácter físico, pero el espacio, como un carácter matemático. Aquí se hace necesario mencionar que las abstracciones de las que se está hablando es un acto mental, que permite aislar conceptualmente una propiedad o una función concreta de un objeto ignorando otras propiedades del objeto; la idea es pues conservar esos rasgos que se presumen más relevantes en el objeto y que posteriormente permiten el establecimiento de categorías entre los objetos que están a la base de uno de los objetivos del pensamiento físico (que es la configuración de generalidades).

En estos términos el carácter físico de la velocidad y el tiempo son abstracciones que obedecen necesariamente a la relación íntima con los objetos; el tiempo por su parte se asocia a un cambio, a un tipo de movimiento que necesariamente se vincula a una velocidad (con la que ocurre este cambio del que estamos hablando). Estos cambios son evidentes aun cuando no se realice una abstracción del objeto; de esta forma estamos dando cuenta de nociones que nos permiten dar explicación o establecer organizaciones de un evento que se asocian de forma directa con la realidad (un cuerpo en movimiento o un cuerpo que está cambiando).

Por lo tanto resulta relevante en estas situaciones el antes y el después, ya que estos permiten establecer una medida de este cambio en relación de la velocidad, por esto se establece la velocidad y el tiempo como caracteres físicos, pero el espacio va a ser una noción que permite establecer relaciones o configurar estas entre los objetos, pero su caracterización no va a depender de los objetos o de las relaciones entre ellos (podría o no tenerse en cuenta los objetos y la noción de espacio no cambiaría).

La elaboración del pensamiento físico, las acciones del sujeto y sus coordinaciones

Teniendo en cuenta las relaciones de las que se requiere para hablar del pensamiento físico (siendo estas la base), se hace necesario hablar de las acciones del sujeto y las coordinaciones generales de esas acciones, ya que hemos afirmado que estas son las que establecen el vínculo irrompible entre el sujeto y el objeto, donde la lógica, el número, el espacio, etc., provienen

de estas coordinaciones generales que se establecen a partir de la acción del sujeto sobre el objeto.

Inicialmente estas coordinaciones parecen implícitas o subjetivas en la construcción de conceptos cinemáticos y mecánicos como el tiempo, la velocidad, la fuerza, etc., pero existe en estos casos una serie de apropiaciones del sujeto, donde la duración es un acto interno, la velocidad y la fuerza son subjetivaciones; además la lógica y el número se asocian a nuestras experiencias y por ende están ligadas a toda nuestra actividad o nuestras acciones.

El espacio por su parte en este marco, está más alejado de nuestra experiencia que la del tiempo, a pesar de ser también una abstracción; ya que resulta complicado establecer situaciones que permitan que las acciones que ejercemos den cuenta de esa noción de espacio, en cambio mediante lo que es la lógica y las asociaciones de relaciones que establecemos entre objetos, podemos establecer por ejemplo la concepción de velocidad ya que intrínsecamente tenemos acciones que nos dan por sentada una asociación con cambios de velocidad, presencia de fuerzas o la duración o el tiempo en relación con el cambio.

Por lo tanto el espacio resulta en estos términos más complejo y no hay algo que experiencialmente nos acerque a esa noción de espacio; pareciese que el tiempo, la velocidad y la fuerza provinieran directamente de la actividad de los sujetos, cosa que no sucede con el espacio.

Existe entonces una serie de coordinaciones lógico – matemáticas que tienen a la base la actividad humana y por ende son congruentes con las experiencias internas y externas del sujeto. Por lo cual podemos también pensar que los procesos físicos provienen de las experiencias internas o externas del sujeto; o también, provienen de una elaboración deductiva que el sujeto es capaz de construir mediante distintos tipos de relaciones, donde se centra la importancia y además son punto de partida las construcciones físicas.

Estas construcciones físicas están constituidas de conceptos cinemáticos y mecánicos (el tiempo, la velocidad, la fuerza, etc.). Estos son la base de todo lo que conocemos como la física. Por otra parte se puede además afirmar que existe una apropiación previa a la formalización de cualquier concepto físico, ya que en lo cotidiano, todo aquello que se

nombra como tiempo, fuerza y velocidad son de uso común antes de ser concepciones científicas como tal.

Esto implica que antes de que el sujeto establezca o apropie una concepción científica o científicista de estas abstracciones (conceptos cinemáticos y mecánicos), estas de una forma cotidiana se están utilizándolo, cual en el marco del pensamiento científico resulta problemático, pues no es sencilla una forma adecuada de abordar dicho pensamiento con relación a los procesos intelectuales que permiten llegar a generalizaciones y formulación de teorías (sobre los problemas que giran en torno a las acciones con la realidad) (Piaget, 1970).

Aquí pareciera que el pensamiento común está lejos de tener implicaciones y obligaciones de rigurosidades en cuanto a lo metódico y lo teórico, puesto que pareciera un proceso de conocimiento espontáneo, por lo que se propone un problema nuevo que traiga a la luz la experiencia y por ende la lectura de la misma; esto propone un dialogo con la experiencia, no creyendo que se sabe todo de ella de forma inmediata, planteando por demás la posibilidad de una estructuración lógico matemática de esta experiencia que estamos leyendo (Piaget, 1970).

Por lo anterior resulta complicado establecer un límite entre la matemática y la física ya que este pareciese ser móvil dependiendo de las experiencias que se afrontan, además de que esta estructuración obedece a una lógica matemática pero también se intenta hacer la lectura a partir de una experiencia real, que hace parte de aquello que se ha propuesto como mundo físico (como forma de vinculación más que de diferenciación) (Piaget, 1970).

La construcción de un pensamiento científico

El pensamiento físico por lo tanto se preocuparía de cómo es el proceso de formación de los conceptos cinemáticos y mecánicos en el sujeto. Por una parte, desde la psicogénesis de la realidad como esa forma en que evoluciona o el individuo va cambiando sus pensamientos; y por otra parte la evolución del pensamiento científico (Piaget, 1970).

Por lo cual en primera medida se podría pensar en atribuir este cambio o evolución a la experiencia exterior, donde cualquier relación externa será una experiencia y este va a ser el

conocimiento en sí (corresponde al empirismo); contrario a lo que se propone como la formación del pensamiento científico.

Entonces la lectura de una experiencia de laboratorio, no va a ser una simple comprobación de lo inmediato; no es posible pensar que esas experiencias de laboratorio van a dar resultados inmediatos, mucho menos conocimiento; sino que por el contrario, es posible llegar a deducciones pero a partir de esto que me arroja la experiencia de laboratorio, así lo que me permite es establecer una serie de relaciones lógico – matemáticas.

De esta forma cuando nos enfrentamos a una experiencia de laboratorio, puedo decir que las nociones cinemáticas como la duración, la velocidad y la posición o la mención de unos puntos de referencia en situaciones determinadas, implica un sinnúmero de coordinaciones, pero sobre todo interpretaciones anteriores a la experiencia realizada propias del sujeto.

En estos términos no está dado por sí mismo el experimento; sino que hay una serie de coordinaciones por parte del sujeto, que le permiten establecer unas necesidades particulares y por ende una organización particular (intencionada), como lo es la experiencia de laboratorio; no como algo que permita corroborar, sino como eso que permite establecer coordinaciones de coordinaciones que permiten llegar a nuevas coordinaciones y por ende interpretaciones nuevas y más sólidas. Así a lo que se llega, como formas de medir, los datos que se obtienen (datos físicos), estarán sujetos a coordinaciones anteriores y por ende a conocimientos y a interpretaciones previas establecidos por el sujeto.

De esta forma existe una diferencia entre las operaciones físicas y las que obedecen netamente a un pensamiento matemático, siendo una dificultad pensar lo “dado inmediatamente” como forma de interpretación, ya que de acuerdo a lo que se ha propuesto, no hay nada que se dé inmediatamente y menos como forma de interpretación, pues se han hecho interpretaciones para llegar a estos datos o lo que el experimento arroja pero no implica una interpretación de un dato inmediato.

Un ejemplo particular que propone Piaget es la interpretación geométrica del concepto de congruencia. Para este ejemplo, se asume el análisis de la congruencia de dos longitudes (siendo tanto las longitudes como el concepto, abstracciones de la realidad), así el proceso al

que se obedece esta dado no por la comparación de dos objetos congruentes sino de las acciones coordinadas (abstracción de la longitud) del sujeto (Piaget, 1970).

En este ejemplo la acción del sujeto sobre el objeto, consisten en hacer una superposición de objetos sobre otros y mediante la sustitución el sujeto asume la igualdad; aun cuando en realidad esta igualdad puede ser una aproximación entre dos objetos, en términos matemáticos asumir esto es posible por tratarse de abstracciones, pero en términos físicos no es posible, ya que el trato de la realidad demanda otro tipo de claridades, además de presentarse nuevos interrogantes que se aíslan del interés de las matemáticas.

Dentro de las dificultades y nuevos interrogantes que se presentan por tratar la “congruencia” únicamente desde la abstracción; Piaget propone considerar lo siguiente con el fin de reflexionar lo que implica un tratamiento físico y afirmar la diferencia entre el pensamiento físico y el matemático (en el caso particular del tratamientos de las medidas de longitud); no diciendo que no se tenga relación entre tratamientos de naturaleza física o matemática, sino que el origen de la dificultad es emplear un solo tratamiento (Piaget, 1970).

- ¿Cómo asegurarse de que el segmento de material (abstracción de recta) conserva su longitud a pesar del desplazamiento? Pues si estoy pensando en dos objetos que se deben comparar y necesariamente movilizarse para realizar la superposición, no tengo una razón suficiente para pensar que esos objetos siguen idénticos en este proceso, ya que si pienso que el objeto sigue siendo el mismo y además no sufre cambios ¿Cuál es (físicamente hablando) el argumento que sostiene la idea de barra indeformable? Pues sin importar la posición la barra no varía.
- Además, como la posición de las barras la estoy pensando en un espacio matemático ¿Cómo podría estar seguro de que este espacio es homogéneo e isotrópico y que el movimiento de estos objetos que estoy movilizando no afectan o ejercen algún tipo de acción sobre este espacio?
- Por otra parte también se hace necesario en este caso particular hablar de los puntos de referencia, ya que se asume el movimiento de los cuerpos con relación a un punto particular, pero ¿bajo qué condiciones es posible pensar que el espacio está provisto de unos puntos o elementos de referencia? ¿Dónde los ubicaría de tal forma que pueda hablar de la traslación de estos objetos?

- Finalmente es un interrogante relevante pensar en cuál sería el trabajo necesario para la movilización de dichos objetos, ya que al abstraer el objeto en función de su longitud, queda de lado o aislado el objeto como tal, pero se sabe que para movilizar dicho objeto necesariamente se ejerce un trabajo sobre él

Lectura de la experiencia

Aquí se está hablando del pensamiento físico y se afirma, que si únicamente se enfoca en la parte matemática, estaría dejando de lado todo lo que habla del objeto y según Piaget no se puede establecer una separación entre la acción y el objeto, o entre el sujeto y el objeto, ya que estos dos siempre han de tener una relación implícita en el pensamiento físico (Piaget, 1970).

Así el pensamiento físico no tiene un enfoque empirista, puesto que este no da cuenta de las acciones que surgen del laboratorio (datos “inmediatos”), ya que no se trata únicamente del proceder propio en el laboratorio (medición, instrumentalización, etc..) o de la refinación en estos procedimientos; sino de establecer una relación entre la experiencia y la prioridad que presupone un conocimiento (ya formado o establecido) que trae consigo el sujeto al laboratorio.

Es este conocimiento que le permite al sujeto preparar u organizar unas experiencias intencionadas como tal (experimento), donde esta experiencia intencionada va a hablar y va a requerir que los instrumentos tengan unas características especiales y un grado de precisión cada vez mayor; de tal forma que los datos que se obtienen en dichas experiencias permiten al sujeto elaborar una serie de reconstrucciones (ya que no es una única forma metodológica, no es un único camino) y conjeturas de la misma experiencia o de experiencias similares que tienen a la base el conocimiento que trae consigo previo a la experiencia.

Aquí se habla ya de un proceso en el cual está inmerso, afirmando que se presenta mayor dificultad en la elaboración de reconstrucciones en la etapa inicial, que en fases posteriores en las que ya hay esquemas más sólidos, productos de estas constantes reconstrucciones y asimilaciones de la experiencia (Ochaita, 1983).

En medio de este proceso existe una elaboración de ideas que va a ser el punto de partida para el pensamiento científico; y estos problemas que surgen a partir del pensamiento científico, o esta elaboración de ideas, es lo que permite como tal hacer una lectura de la experiencia; por lo que el pensamiento físico con relación al conocimiento, no va a ser lo que se planteaba desde el empirismo como una comprobación (de un dato “inmediato” que este dada por sí mismo), sino una asimilación del objeto a la actividad propia de la construcción de relaciones.

Esta asimilación en principio va a ser deformante para el sujeto, luego equilibradora, pero poco a poco mediante estas acciones, va haciendo complementaria cada acomodación una de la otra y se van construyendo o elaborando esquemas de asimilación a lo real; entonces, a medida que se van construyendo series de asimilaciones, se van acomodando tanto las experiencias, conjeturas, como las relaciones entre ellas y a partir de esto se establecen unos esquemas que permiten asimilar todo lo anterior a lo real (Piaget, 1970).

En estos términos el pensamiento físico tiene como centro la preocupación por el análisis de esta asimilación desde sus fases iniciales, hasta la construcción de una asimilación racional (constituida por el pensamiento físico elaborado); esta va a ser esa parte que permite llegar a la abstracción matemática de las relaciones y generalizaciones, dando claridad tanto del origen, como de la necesidad de proponer dichas abstracciones como forma de comprensión de las relaciones que se establecen entre objetos o con el sujeto.

Por lo anterior, además del pensamiento físico, el conocimiento físico como tal, proviene de la asimilación de los objetos a los diversos modos de la actividad del sujeto, en medio de esa interacción constante entre el sujeto y el objeto, para poder permitir este tipo de asimilaciones y por ende establecer una serie de relaciones que le permita hablar del conocimiento físico como tal.

En estos modos de la actividad del sujeto, existe una actividad interior del sujeto, esta actividad en principio podría hacer suponer que los conocimientos físicos formales provinieran únicamente de esta actividad interior y por ende, que todos los conocimientos provinieran de esta actividad interior; esto según Piaget no lo podemos afirmar, pero si podemos afirmar que existe una realidad subjetiva que da cuenta de esta experiencia interior,

que además es una construcción del sujeto en el proceso de asimilación y de la cual podemos echar mano para establecer una formalización de la realidad del sujeto.

La actividad del sujeto

En palabras de Piaget, existe una dualidad inseparable a la constitución del pensamiento físico del sujeto, que opone la subjetividad como toma de conciencia del sujeto, a la actividad del sujeto como coordinador operacional, en un proceso de descentración de la acción propia para adaptarla al objeto como tal (Piaget, 1970). En estos términos es necesario hablar de la acción del sujeto, existe una actividad del sujeto; y son los conceptos físicos elementales constituyentes de la asimilación de los hechos a la actividad.

Estas actividades en principio no son lo suficientemente coordinadas y la actividad del sujeto tendrá como fin, llegar a esa coordinación “óptima”; ya que como las coordinaciones no son lo suficientemente coordinadas entre sí, hacen que sean deformantes en el proceso de asimilación del sujeto; esto quiere decir que el sujeto toma una posición parcial e inadecuada frente a ellas (este es el origen de la subjetividad o egocentrismo primitivo propuesto por Piaget).

Este egocentrismo primitivo va a ser eliminado posteriormente en el proceso de asimilación y coordinación; como estamos hablando de un proceso, en la medida que este va evolucionando, esta subjetividad va siendo eliminada; ya que en tanto las acciones son más coordinadas entre ellas y se forman agrupaciones entre ellas, la actividad del sujeto se ve reforzada, constituyendo esquemas de asimilación formales que ya no serán deformantes sino adecuados a los objetos.

En estos términos, hay un objeto de estudio del cual queremos dar cuenta y el pensamiento físico lo que establece aquí sería una serie de relaciones (coordinaciones), que en principio no son muy estables; pero en la medida que el proceso va avanzando, el sujeto va acomodando sus conocimientos (que ya están establecidos) con los nuevos y generando estructuras que ya no van a ser removibles, esto lo que hace es fortalecer la actividad del sujeto.

La actividad del sujeto es dependiente del grado de subjetividad; de tal forma que esta crece cuando es más objetiva, esto es cuando estas relaciones o coordinaciones son más sólidas, más estables y ya no son removibles, siendo así el grado de objetividad mayor. Por esto la actividad del sujeto será mayor, tanto mayor sea el grado de descentración o movilidad de estas coordinaciones, estas permiten al sujeto el establecimiento de conjeturas que quedan cada vez más arraigadas o establecidas; así, el avance de aquello que llamamos conocimiento a partir del pensamiento físico, no permite desligar en ninguna medida el sujeto del objeto; ya que este se preocupa por la eliminación gradual de esta subjetividad (pensamiento egocéntrico) y del incremento de la actividad coordinadora del sujeto.

Deducciones lógicas y la experiencia

El conocimiento físico como tal no va a estar originado únicamente por la experiencia interior o exterior del sujeto, sino por una unión que se hace necesaria entre las estructuras lógico – matemáticas (que surgen a partir de la coordinación de las acciones) y los datos experimentales asimilados a estas coordinaciones lógico – matemáticas. Por lo que referente al pensamiento físico que plantea Piaget, hay una relación indisoluble entre la deducción (estructuras lógico – matemáticas que se han planteado a partir de la experiencia) y la experiencia como tal. (Piaget, 1970)

Aquí se propone una problemática y es que comúnmente la deducción lógico – matemática se ha reducido a un cálculo, a un lenguaje especializado (matemático) y en ocasiones a una sintaxis (destinadas a enunciar o anticipar hechos de los datos experimentales) (Piaget, 1970). Este conocimiento sintético que estaría proporcionado por la lógica matemática, es producto de la experiencia (lo que conocemos como dato inmediato); por lo que el pensamiento físico propone que, aun en el campo más pre científico o rudimentario, en la parte inicial donde surge el interés por la elaboración de estas teorías o la construcción de un conocimiento físico como tal, no existe lo dado de inmediato, por lo que el pensamiento físico no puede estar radicado en la lógica matemática.

Por otra parte habría otra opción de considerar el pensamiento físico y es la interpretación a priori; donde los elementos deductivos propios del conocimiento físico, consisten en encuadres que están grabados en el sujeto internamente, en su mente y lo dado

experimentalmente vendría a llenar o fortalecer eso que ya está dado en el sujeto; pero según Piaget lo que han demostrado estudios y hechos genéticos, es que durante las fases iniciales de la formación de los conceptos, el marco se constituye con relación a la organización del contenido y esta organización es propia como tal del sujeto, de tal forma que no es que el conocimiento este guardado como información y que mediante la experiencia aflore este conocimiento; sino que es una relación entre la experiencia y la organización propia que establece el sujeto como tal, para dar explicación a diferentes fenómenos (Ochaita, 1983).

En medio de estas organizaciones del sujeto, surge una parte de las coordinaciones generales de la acción que constituyen el punto de partida de las formas lógico – matemáticas que se estructuran y se afianzan a medida que se van ejercitando; es decir, solo con referencia a las acciones especializadas (físicas) que trata de hacer coordinar, por lo tanto, el sujeto tiene una necesidad de hacer coordinar una serie de acciones físicas y es a partir de estas coordinaciones y de la refinación o del proceso, que va formalizando.

El estudio de la psicogénesis propone que antes de los 11-12 años, no existe en el niño una lógica formal que sea general a cualquier caso, tipo de situación o momento; en otras palabras una generalidad como tal que sea indistinta a diversos o a todos los tipos de razonamiento, como por ejemplo, $A = B$ y $B = C$ luego $A = C$. (Piaget, 1970)

Según Piaget esto es un proceso al cual el sujeto va a llegar a medida que va estructurando o fortaleciendo esas acomodaciones, de tal forma que cada vez sean menos móviles; así para que el estudiante establezca que $A = C$, debe tener una estructura y un conocimiento como tal; además, haber establecido una serie de relaciones fuertes, que ya no sean móviles y debería tener esa estructura formal; ese pensamiento formal que le permita establecer relaciones entre dos objetos que aparentemente no tienen ningún tipo de conexión.

Estos tipos de razonamientos deben ser reconstruidos a medida que se va presentando la oportunidad de cada concepto nuevo que se intenta abordar; como por ejemplo, la cantidad de materia, el peso, el volumen etc., son relaciones que el sujeto debe ir consolidando, no están a priori, no las va a arrojar de primera mano la experiencia. Bajo esta perspectiva no hay un dato experimental que no presuponga una relación o estructura lógico - matemática que permita en mínima medida una lectura del dato.

Descentración y coordinaciones en función de la experiencia

Aquí se hace necesario reconocer algo de lo que se habló líneas anteriores y es que existen realidades experimentales, además hay unas coordinaciones lógico – matemáticas y tanto las realidades experimentales como las coordinaciones lógico matemáticas van a estar relacionadas, dándose unas en función de las otras (las realidades experimentales se dan en función de las coordinaciones lógico – matemáticas y viceversa). Las dos mediante un movimiento de externalización tanto de las realidades experimentales como las coordinaciones lógico – matemáticas y una internalización como tal por parte del sujeto.

Esto presupone un proceso conjunto tanto de las dos mencionadas anteriormente. Este proceso se da gracias a la descentralización de las mismas; cuando se da una descentralización en las realidades experimentales, hay una elaboración o constitución de estructuras lógico – matemáticas, o cuando hay una descentración en las coordinaciones lógico – matemáticas, debe haber una reestructuración en las realidades experimentales.

Los conocimientos físicos como tal del sujeto, nacen de la relación entre acciones relativamente aisladas, relacionado directamente el sujeto con el objeto, donde el sujeto aprende el objeto en su aspecto más exterior y fenoménico, mientras que las relaciones que vinculan con el sujeto, siguen siendo egocéntricas o vinculadas a la actividad momentánea con la experiencia real (Piaget, 1970). Bajo estas condiciones el avance del conocimiento propuesto por Piaget, equivale a coordinar las acciones entre sí; cada una de ellas se convierte en una transformación entre otras de un sistema amplio, donde el equilibrio de las coordinaciones entre las acciones es alcanzado cuando llega al grado de operaciones formales.

Estas coordinaciones necesariamente implican el tratamiento del proceso de descentración, ya que las coordinaciones consisten en un proceso de descentración de las acciones del sujeto, desde las acciones iniciales. Por una parte, las acciones se coordinan, el sujeto se desprende de su punto de vista egocéntrico (concepción de acción inmediata) porque cada una de sus acciones se inserta en un sistema que las engloba a todas, de tal forma que la actividad coordinadora prima sobre la acción directa ligada al objeto (Piaget, 1970).

En estos términos esa actividad coordinadora se internaliza o se refleja en esquemas operatorios con una mejor estructuración en la medida que esté más alejado de las acciones concretas inmediatas; entonces en la medida que el sujeto se va alejando de ese pensamiento egocéntrico de la acción inmediata, las construcciones o las coordinaciones van a ser cada vez más formales en el pensamiento físico, llegando a un “pensamiento físico” y a unas organizaciones formales que son establecimientos teóricos, estos son acordes o congruentes con la actividad experimental (experiencia).

Por lo tanto un aspecto relevante son las coordinaciones generales de la acción del pensamiento. Teniendo en cuenta lo que se ha dicho del proceso, el objeto se externaliza y se objetiva (acción del sujeto), desde ese momento se asimila a las coordinaciones generales que ha establecido el sujeto de la acción del pensamiento y no ya de acuerdo a la actividad propia momentánea; así el egocentrismo y el fenomenismo (reunidos desde la fase inicial del proceso) se disocian en una doble coordinación interna o reflejada en estructuras lógico matemáticas y externa o desplegada en operaciones físicas.

Lo anterior enmarca un proceso con una relación intrínseca entre las dos, donde el sujeto establece unas estructuras matemáticas que están más fortalecidas y mejor internalizadas gracias al proceso de formalización en un sentido contrario a la intuición empírica; esto quiere decir que no han sido guiadas únicamente por dicha intuición, sino que establecen una relación entre lo que se obtiene del experimento (experiencia del laboratorio) y todas las coordinaciones lógico – matemáticas que se puedan establecer, dando congruencia entre la coordinación lógico matemática y la experiencia del laboratorio.

En estos términos Piaget propone una desantropomorfización de la física, en otros términos se libera del sujeto egocéntrico (acción inmediata), mientras que la matemática por su parte, se desconcentra liberándose del sujeto aparente; pero sin embargo, ambas se ajustan mejor una a la otra, por cuanto se orientan en sentidos contrarios de forma complementaria (Piaget, 1970).

Así el avance formal de una (que va a ser el avance de la experiencia lógico – matemática) es el resultado de una esquematización de una formulación más abstracta de los avances experimentales de la otra; en realidad se trata por el contrario de una externalización y de una

internalización complementarias, en tanto que se internaliza una, se externaliza la otra y viceversa.

Esta complementariedad deriva del hecho de que las acciones físicas especializadas van en pro de adelantarse a lo real, en tanto estén más estructuradas sus coordinaciones lógico – matemáticas, gracias a una internalización que las generaliza desprendiéndolas de lo concreto.

Así el pensamiento físico aborda todas las posibles interacciones con el objeto y promueve la producción de acciones intencionadas de análisis cada vez más detalladas de los fenómenos, no dando cuenta de experiencias espontaneas inmediatas del sujeto, sino de la generalización y abstracción de estas (sin dejar de lado el objeto), por lo que este pensamiento constituye un pensamiento complejo, que incluye todas las posibles relaciones que se pueden asociar a un objeto con el sujeto.

Por lo anterior podríamos afirmar que la noción de espacio es un ejemplo del pensamiento físico y del proceso que este implica. El espacio no viene dado *a priori* como producto de la percepción, sino que se va elaborando poco a poco en la actividad del sujeto; por lo tanto, este proceso implica según Piaget, el paso inicial por la actividad sensoria motriz que dará paso a una etapa posterior de representación formal y por ende de la comprensión y formalización de los que se conoce en la actualidad como fenómenos físicos.

Espacio y tiempo: Un paso, del objeto al sujeto

En los anteriores apartados reconocemos a un Kant y un Piaget preocupados no por los objetos que se analizan usualmente en el campo de la física, sino que orientan su mirada al sujeto y la forma en que este construye su conocimiento, la forma en que percibe, relaciona, analiza, construye, duda y argumenta. Por lo tanto en contraste con los interrogantes que pretenden responder Aristóteles, Galileo Galilei, René Descartes y Gottfried Leibniz con relación al cómo y el por qué suceden las cosas, surge un nuevo interrogante que es ¿cómo el sujeto construye conocimiento?

Es así que al desviar la mirada del objeto y posarla en el sujeto, surge la necesidad de reconocer la forma en que el sujeto razona, de tal manera que cuando se pretende el análisis

de los fenómenos físicos, este no resulta ser una interpretación de un entorno aislado del sujeto, sino que se convierten en una construcción a partir de las afecciones que el entorno produce sobre el sujeto. Es así que cualquier tipo de interpretación surge según Kant (1928) como derivado de las nociones de espacialidad y temporalidad inherentes al sujeto.

En contraposición con lo anterior, Jean Piaget propone que estas nociones son producto de la interacción sujeto – entorno. ¿Quién tiene la razón?, si son elementos a priori o producto de la experiencia que se organiza, no es motivo de discusión en el presente análisis; sin embargo, es evidente que tanto las nociones de espacialidad como las de temporalidad constituyen la formación del pensamiento físico del sujeto. De tal forma que pensar en algún tipo de organización fenomenológica en el campo de la física requiere de estos dos elementos como ejes transversales y estructuradores que emergen de la razón como una acción del sujeto.

En esta medida es propio del sujeto y además inevitable el percibir y organizar dichas percepciones. Por lo tanto la actividad de construcción de pensamiento (para este caso particular la construcción del pensamiento físico) requiere reconocer las relaciones que se tienen con el entorno, además de reconocer lo que compone el entorno y establecer parámetros entre dichos componentes; siendo estos, constructos que se fundamentan en todas las posibles interacciones del sujeto, aceptando que el conjunto de relaciones asocia las nociones de espacio y tiempo como base de la formalización de los fenómenos físicos.

Finalmente es necesario aclarar, que si bien desde estas miradas el papel del sujeto es preponderante en el ámbito de la construcción del pensamiento físico, la noción de cuerpo sigue siendo protagónica; ya que el sujeto no hace estos constructos en ausencia del objeto sino que es a propósito de unos objetos que desde estas perspectivas ya no son externos, o elementos aislados en un plano distinto al del sujeto, sino que están íntimamente vinculados con la manera de pensar del sujeto y es con base a ellos que se puede llegar a dichas construcciones.

Capítulo III: Un análisis de la noción de espacio para el maestro a propósito del principio de funcionamiento de un motor de combustión interna y un motor eléctrico.

En el presente apartado se propone el análisis y la organización de dos fenómenos particulares, que serán el punto de partida para analizar las situaciones que se presentan en el aula de clase. Aquí será posible evidenciar una perspectiva particular de las nociones espaciales del maestro, que le permiten estructurar y comprender los fenómenos físicos que son llevados al aula, en particular a la clase de física. El apartado inicia con una descripción de las condiciones necesarias para el funcionamiento de un motor de combustión interna, haciendo énfasis en el ciclo de Otto (ideal) y cierra con la descripción de las condiciones necesarias para el funcionamiento de un modelo de motor eléctrico (solenoides), que permite dar cuenta de los principios básicos del electromagnetismo; cabe resaltar que a pesar de analizar dos fenómenos completamente distintos (uno en el campo de la Mecánica y la

Termodinámica y otro en el campo del Electromagnetismo) las dos apuestas apuntan a la importancia de las nociones espaciales en la organización y comprensión de los fenómenos físicos.

Caracterización del espacio en el caso del motor de combustión interna:

Para iniciar el análisis del sistema que respecta al funcionamiento del motor de combustión interna y el énfasis en la dinámica del pistón (Ciclo Otto), junto con las implicaciones en la transformación del movimiento unidireccional en principio (que mediante una serie de mecanismos acoplados y sincronizados entre sí, establecen una nueva dinámica rotacional externa, que justificará tanto la organización del sistema, como su uso en la cotidianidad); será necesario reconocer cada uno de los componentes, de tal modo que mediante una progresiva organización se logre dar cuenta del funcionamiento y cualificación del sistema general de análisis (Acoplamiento Cilindro – Biela – Manivela – cigüeñal - Correa de repartición – árbol de levas – válvulas, bujía).

Fase 1 de análisis: Acoplamiento sistema Vástago – Émbolo - Cilindro

Vástago – Embolo

Uno o de los elementos principales es el vástago, este debe ser un elemento rígido y muy resistente a altas temperaturas, es el encargado de transmitir la fuerza externa necesaria aplicada en el área inferior del embolo generando una presión sobre el gas (compresión) y en el proceso inverso transmite la fuerza que se genera por la presión ejercida por el gas sobre el área superior del embolo. Este está acoplado de forma permanente al embolo (igualmente rígido y resistente a altas temperaturas), tiene un espesor **X** y un radio **R** (que permite el ajuste perfecto e impide el paso de aire por las paredes), y es el encargado de aumentar o disminuir la presión de un fluido según sea su movimiento ascendente o descendente.

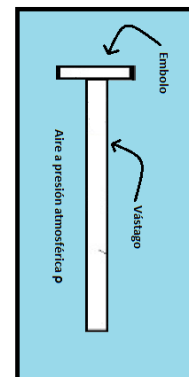


Ilustración 6 Embolo y vástago (Fuente: Elaboración Propia)

Cilindro

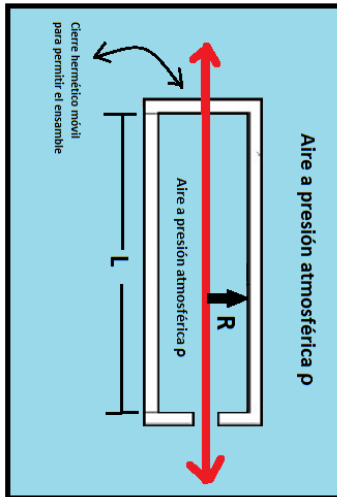


Ilustración 7 Camisa del pistón
(Fuente: Elaboración Propia)

El cilindro es un elemento de igual forma rígido, con una determinada altura L y un radio R ; el área superior del cilindro es móvil con el fin de posibilitar su ensamble y un orificio en la parte inferior que permite la movilidad del vástago. De acuerdo a las características mencionadas anteriormente (tanto del cilindro como del embolo) tiene una capacidad volumétrica $V = \pi R^2 (L - X)$. Este es el encargado de limitar la dirección de movimiento del embolo (una dirección, dos sentidos), además de contener la masa (m) de gas (aire); al cual se variará tanto la presión el volumen, como la temperatura; asumiendo que la cantidad de gas confinado en el cilindro después de realizar el ensamble, es constante. Por lo tanto no hay incremento o

disminución de materia (m) en esta dinámica (explicativa) inicial del sistema Vástago – Embolo – Cilindro.

Ensamble del sistema

Se retira la cubierta móvil del cilindro y se introduce el acoplamiento (vástago – embolo) ingresando primero el vástago con el fin de que sea posible pasar este por el orificio inferior del cilindro



Ilustración 9. Ensamble embolo – pistón
(Fuente: Elaboración Propia)

del posible recorrido del embolo. En esta posición se ubica nuevamente la cubierta superior (cierre hermético) y el embolo estará en una posición de equilibrio.

Una vez introducido el vástago (para este caso) se acomoda el embolo aproximadamente a una distancia de $(L - X)/2$ que corresponde a la mitad

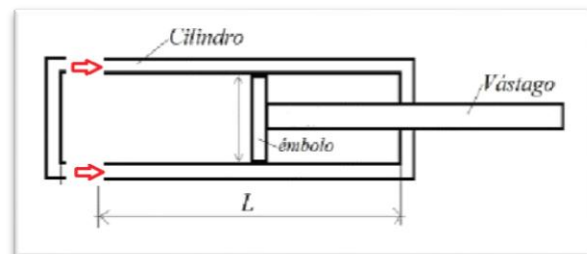


Ilustración 8 Cierre hermético sistema embolo - cilindro
(Fuente: Elaboración Propia)

Equilibrio en términos de presión. El punto de referencia en este caso es la presión atmosférica, ya que se asume la presencia de aire a presión atmosférica (p) desde el ensamble inicial del sistema vástago – Cilindro.

Sistema en equilibrio

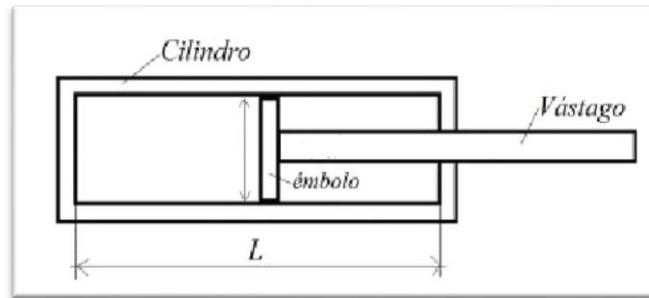
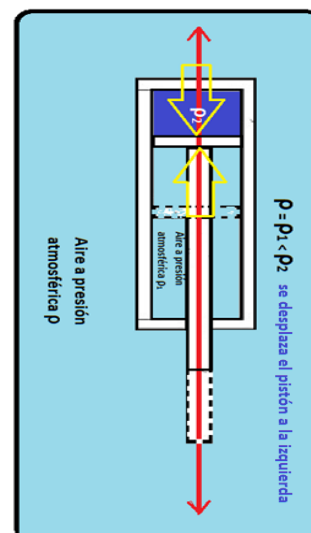


Ilustración 10 Sistema empujador – cilindro en equilibrio (Fuente: Elaboración Propia)

Fase 2 de análisis: Dinámica del sistema a propósito de las variables macroscópicas (V, T y P)

Para iniciar esta fase de análisis se reitera que el punto de equilibrio desde el cual se hablara de la posibilidad de movimiento del empujador, será ese punto en el cual este esté completamente inmóvil, reconociendo que hay una presión atmosférica P aplicada en área inferior del empujador y para que el sistema se mantenga en equilibrio la presión p_2 de la masa de aire contenida entre el área superior del cilindro y el empujador debe ser igual a la presión atmosférica p de tal forma que $p = p_1 = p_2$.



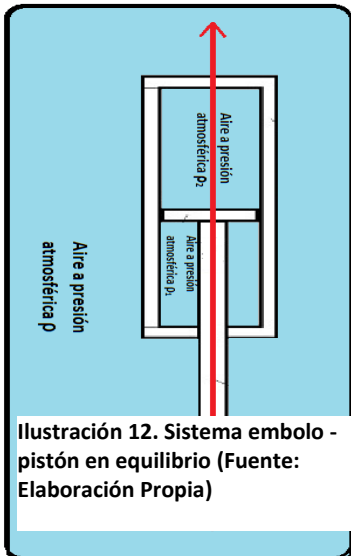


Ilustración 12. Sistema emboło - pistón en equilibrio (Fuente: Elaboración Propia)

Ante cualquier variación de presión, el emboło se desplazará de forma ascendente o descendente. Si el caso es que se ejerce una fuerza sobre el vástago de tal forma que la presión sobre el área inferior del emboło se incremente (aun cuando la presión en esta sección del cilindro permanezca constante $p_1 = p$) y por ende el emboło ascienda (disminuyendo el volumen que ocupa la masa (m) de aire confinada entre el área superior del emboło y el cilindro) y comprima la masa (m) de gas, aumentando la presión de este de

tal forma que $p = p_1 < p_2$.

Así como el movimiento del que se está hablando, es producto de una fuerza externa que se transmite por el vástago al área inferior del emboło, distribuyéndose de manera uniforme por todos los puntos de dicha área generando un aumento de presión; al eliminar dicha fuerza, la presión de la masa (m) de aire confinada entre el área superior del emboło y el cilindro disminuye, el emboło desciende y el volumen aumenta hasta que $p = p_1 = p_2$ el sistema se equilibra.

La anterior explicación permitirá realizar un mejor análisis de las relaciones que se establecen en el sistema complejo que resulta ser el motor de combustión interna, además es posible reconocer la organización que implica el funcionamiento del sistema (emboło - vástago - cilindro) y como esta organización permite establecer parámetros como el “equilibrio dinámico”, la dirección del movimiento y el posible sentido que puede tener tal movimiento según sea la relación de presiones internas y externas del sistema.

En este sistema tan sencillo, es posible reconocer relaciones espaciales en términos de longitud tales como la imposibilidad de que el pistón se desplace una distancia mayor a $L - \Delta L$ de ascenso, siendo ΔL la longitud mínima ocupada por la masa de gas confinada; además esta longitud probablemente sea muy pequeña $\Delta L \rightarrow 0$ (si la fuerza externa es muy

Desequilibrio

Ilustración 13. Sistema emboło - pistón en desequilibrio (Fuente: Elaboración Propia)

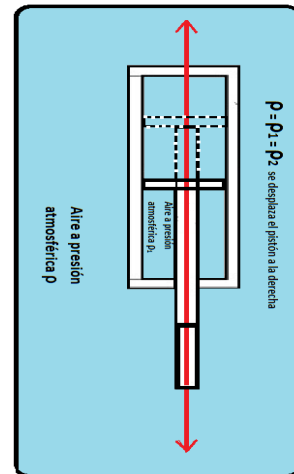


Ilustración 11. Variación de volumen del gas contenido (Fuente: Elaboración Propia)

grande), pero nunca puede ser cero, ya que no hay posibilidad de tener materia en el espacio sin que ocupe un determinado volumen. De tal forma que las relaciones espaciales que delimitan el funcionamiento del sistema dan cuenta de los cambios en las variables macroscópicas del sistema; así una mayor “longitud” de desplazamiento puede determinar una mayor presión y temperatura o viceversa.

Según los esquemas proporcionados, es posible evidenciar en este caso que a medida que ΔL es menor, la presión del gas es mayor, por lo que resulta cada vez más difícil comprimir el gas, además otro tipo de relaciones espaciotemporales como lo es el caso de la velocidad (v) de desplazamiento del pistón, quedan en manifiesto; puesto que en el sistema se pueden reconocer algunos momentos particulares en los cuales las condiciones en las que se encuentra el pistón genera mayor o menor dificultad de movimiento, lo que implica necesariamente o un decremento de la velocidad con que es barrida una distancia determinada por el pistón o un incremento en la acción que se ejerza sobre el gas para que la velocidad de dicho movimiento no varíe.

Para este caso particular del sistema (vástago - embolo - cilindro) por experiencia se puede determinar que en términos de velocidad (v), esta decrece en el momento de compresión hasta llegar a cero, siendo la velocidad (v) máxima (en el ascenso) cuando ΔL es mayor y (v) mínima, cuando ΔL es menor. Lo anterior es opuesto a la relación que se establece entre la velocidad (v) y el descenso del embolo, al eliminar la fuerza externa que ha desequilibrado el sistema. En este caso cuando ΔL es mínimo la velocidad (v) es cero e incrementa gradualmente luego disminuye hasta detenerse nuevamente en el punto más bajo (L-X) cuando $\rho = \rho_1 = \rho_2$.

Para el anterior caso es necesario reconocer un sistema de relaciones entre objetos (aire – vástago – embolo - cilindro); de tal forma que la continuidad en el espacio, permite reconocer tanto los elementos que están en juego, como los cambios que estos experimentan de acuerdo a su posición espacial y temporal propias de la dinámica del fenómeno en el caso del sistema (vástago – embolo – cilindro). Aquí es posible reconocer el pensamiento aristotélico (sustitución de la materia) implícito, ya que en la dinámica propia del sistema unos cuerpos van sustituyendo otros; pero en ningún momento hay posibilidad si quiera de pensar en vacíos.

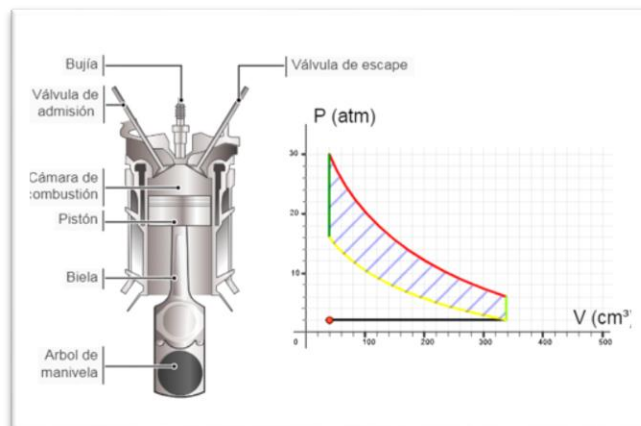
En este proceso, las variaciones de presión y temperatura, se pueden asociar a relaciones espaciales en las cuales una determinada cantidad de aire está confinada en un mayor o menor volumen y el movimiento como el cambio de posición del embolo con respecto a un punto de equilibrio (cuando $p = p_1 = p_2$.) que recorre mayores o menores distancias en determinados tiempos, dependiendo en cada instante de las diferencias de presión y estas necesariamente están asociadas a la relación espacial ΔL .

Fase 3 análisis Relaciones ciclo Otto: Cilindro - Pistón - Válvulas - Masa de aire – Combustible – Bujía – Cámara de combustión

En esta fase es necesario asumir la realización de un trabajo mecánico para poder iniciar el ciclo, este trabajo comprende lo que se va a referir como admisión y compresión de la masa (m) de aire y combustible que ingresa por la válvula de admisión con una presión atmosférica p . Este ciclo no tiene un punto específico de iniciación; sin embargo para este análisis, asumiremos la admisión como punto inicial, además el proceso “autónomo” del motor iniciará cuando se genera la chispa en la bujía, solo en este instante el gas produce un trabajo sobre el pistón, que gracias al movimiento inercial de la manivela, sustituye ese trabajo mecánico inicial necesario en el inicio del ciclo.

Componentes del sistema y punto de partida:

Respetando el orden que presenta la imagen en forma descendente se encuentra la bujía; esta es la encargada de generar una chispa (producto de un mecanismo electrónico) que origina la ignición en la cámara de combustión aumentando de forma abrupta tanto la presión como la temperatura.



Enseguida encontramos las válvulas de admisión y escape;

Ilustración 14. Ciclo de Otto ideal (Fuente: <https://www.edumedia-sciences.com/es/media/395-motor-4-tiempos>)

encargadas de la entrada y evacuación de la masa de gas que se aloja en el cilindro. Posterior encontramos la cámara de combustión que es el lugar en el cual la mezcla de aire y combustible alcanza su mínimo volumen y por ende su mayor presión, aquí es donde se produce la ignición y se alcanzan unas temperaturas promedio de 2000 y 2500 °C; además las presiones corresponden a unas relaciones entre 8:1 y 20:1 según sea el tamaño del motor.

Siguiendo el recorrido encontramos el pistón; este es el encargado de comprimir y transmitir las acciones producidas por el gas confinado al sufrir cambios drásticos en sus variables macroscópicas (m , T , V y ρ). El movimiento que el pistón realiza es limitado por la longitud de la biela y su relación con la manivela; en este recorrido oscilatorio del pistón, se ubica en dos puntos extremos, el punto más alto es denominado punto muerto superior (PMS) lugar de la compresión y la ignición (en tiempos distintos); y el punto más bajo denominado punto muerto inferior (PMI) lugar de finalización de la admisión e inicio de la expulsión de gases (en tiempos distintos).

Finalmente la biela es la que transmitirá el movimiento a la manivela y todos los anteriores elementos están dentro o acoplados al cilindro, sobre este se desplaza el pistón. Es aquí donde se contienen los gases hasta que son evacuados por la válvula de escape.

Ciclo Otto

Teniendo como precedente lo mencionado anteriormente, se describirá paso a paso el funcionamiento de un motor de combustión interna y las relaciones espacio temporales que permiten dicha descripción; reconociendo el ciclo Otto como el ciclo termodinámico que se aplica en los motores de combustión interna de encendido provocado por una chispa eléctrica. Los tiempos que se analizarán son denominados admisión, compresión, combustión y escape; denotando la relación del desplazamiento del pistón con ΔL .

Admisión:

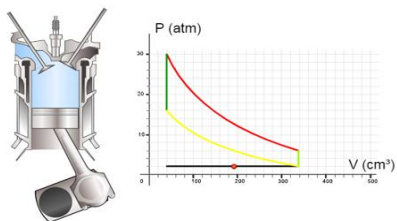


Ilustración 15. Admisión mezcla de gas y aire (Fuente: <https://www.edumedia-sciences.com/es/media/395-motor-4-tiempos>)

En esta primer “tiempo” del ciclo, es necesario reconocer que en principio no es un evento autónomo (como lo será posterior a la generación de la primera chispa), este primer evento es una acción mecánica que consiste en halar el pistón en forma descendente (abierta la válvula de admisión) para succionar una masa de aire y combustible, hasta llegar al punto muerto inferior, de tal forma que esta masa de aire y combustible ocupe la totalidad del volumen del cilindro, momento en el cual la válvula de admisión se cierra.

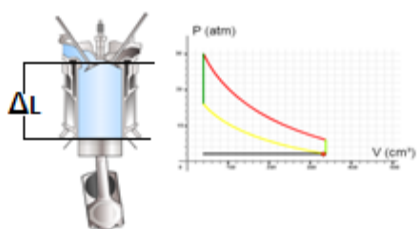


Ilustración 17. Relación entre longitud y cantidad de materia en el proceso de admisión (Fuente: <https://www.edumedia-sciences.com/es/media/395-motor-4-tiempos>)

Lo anterior implica un aumento en la cantidad de masa dentro del cilindro, ya que inicialmente la única masa de aire contenida dentro del cilindro era la que ocupaba la cámara de combustión; esta resulta ser (dependiendo el tamaño del motor) de una octava parte del gas total contenido a una veintea parte del gas total contenido dentro del cilindro cuando el pistón se encuentra en el PMI. Sin embargo, a pesar

de este cambio significativo de volumen y el incremento de masa de aire y combustible que ocupan el cilindro, no hay un incremento en la presión o la temperatura del gas (masa de aire y combustible), ya que este ingresa presión atmosférica. Por lo anterior el desplazamiento del pistón (ΔL) hace referencia al incremento de masa y volumen (presentado en las gráficas P Vs. V con el desplazamiento del punto rojo).

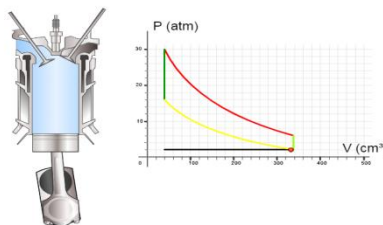


Ilustración 16. Admisión de gas completa PMI (Fuente: <https://www.edumedia-sciences.com/es/media/395-motor-4-tiempos>)

Compresión:

En este “tiempo” el pistón realiza un desplazamiento ascendente, como tanto la válvula de

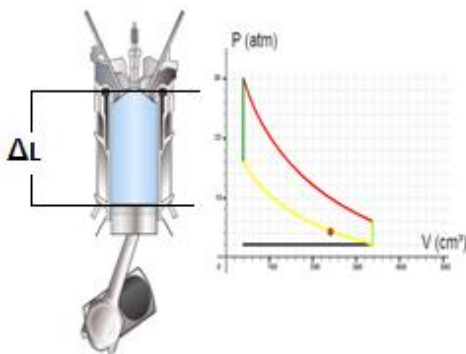


Ilustración 18. Cierre de válvulas (Fuente: <https://www.edumedia-sciences.com/es/media/395-motor-4-tiempos>)

admisión como la válvula de escape están cerradas, el gas es comprimido en la medida que ΔL disminuye, este va a ser mínimo cuando el pistón llega al PMS y el gas se confina en la cámara de combustión; esto es lo que se conoce comúnmente como relación de compresión y puede ser entre 8:1 hasta 20:1, lo que quiere decir que el gas contenido en el cilindro ocupa entre una octava y una veinteava parte de su volumen inicial. En este paso del proceso la masa de gas no cambia, pero la temperatura del gas si se incrementa de manera significativa; de tal forma que la relación espacial ΔL (desplazamiento del pistón) hace referencia al incremento de temperatura y presión en el gas, además de la disminución en el volumen del mismo (presentado en las gráficas P Vs. V con el desplazamiento del punto rojo).

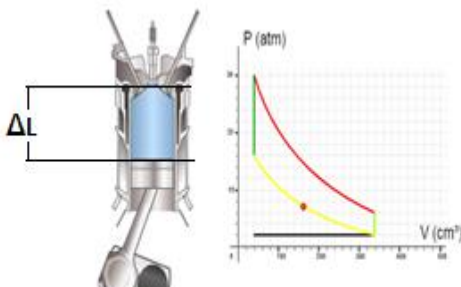


Ilustración 19. Procesos de compresión del gas (Fuente: <https://www.edumedia-sciences.com/es/media/395-motor-4-tiempos>)

Combustión:

Este “tiempo” inicia con un cambio abrupto de temperatura sin variar el volumen o la masa del gas confinado. Esto implica una variación

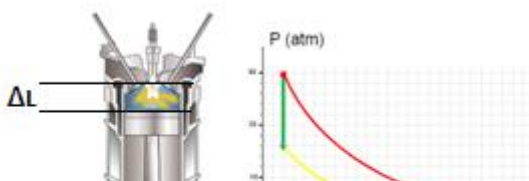


Ilustración 21. Generación de chispa (Fuente: <https://www.edumedia-sciences.com/es/media/395-motor-4-tiempos>)

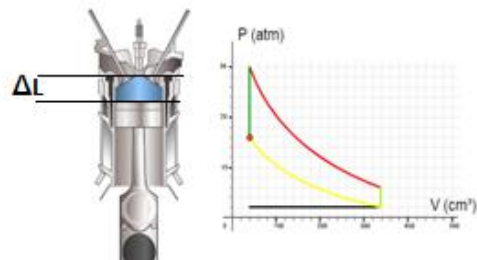


Ilustración 20. Compresión máxima del gas (Fuente: <https://www.edumedia-sciences.com/es/media/395-motor-4-tiempos>)

significativa (aproximadamente 87,5%) respecto a la presión inicial del gas confinado

en la cámara de combustión en el tiempo de compresión. Por lo tanto al generarse la chispa e incrementar la presión hasta el punto más alto (indicado en la gráfica con el punto rojo) el gas desplaza el pistón de forma descendente en dirección al PMI, en este proceso tanto la presión como la temperatura disminuyen en la medida que ΔL aumenta hasta el máximo en el PMI; sin embargo en este paso no es posible alcanzar las condiciones de presión y temperatura iniciales, ya que el gas confinado a pesar de la expansión (incremento de volumen) tiene una temperatura elevada y por ende

una mayor presión en comparación con lo registrado en el proceso de admisión. Para este caso la relación espacial ΔL da cuenta de la disminución tanto en la presión como en la temperatura además del incremento en el volumen del gas confinado dentro del cilindro. Se puede afirmar que en tanto que ΔL aumenta, el volumen V aumenta; en tanto que la presión (P) y la temperatura (T) disminuyen.

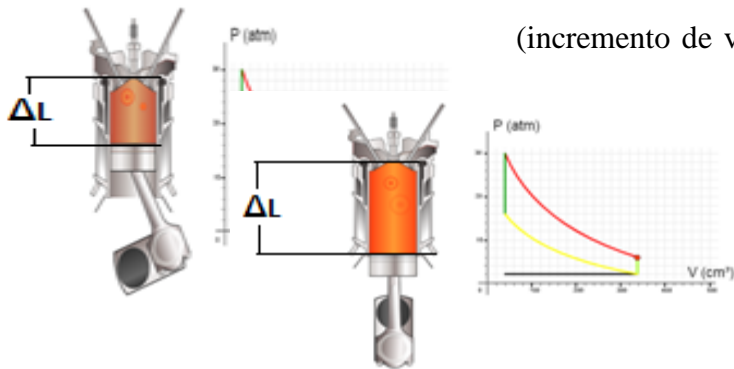


Ilustración 22. Expansión máxima del gas (Fuente: <https://www.edumedia-sciences.com/es/media/395-motor-4-tiempos>)

Ilustración 23. Explosión y expansión del gas (Fuente: <https://www.edumedia-sciences.com/es/media/395-motor-4-tiempos>)

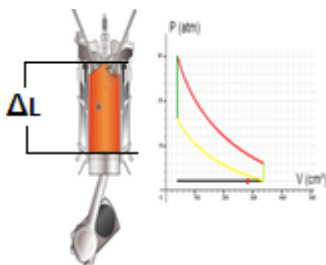
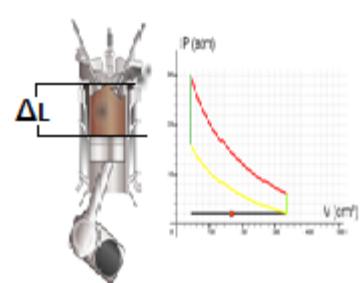


Ilustración 24. Apertura de válvula de escape (Fuente: <https://www.edumedia-sciences.com/es/media/395-motor-4-tiempos>)

Escape:

Este “tiempo” inicia con la apertura de la válvula de escape, por ende hay un cambio de presión casi instantáneo hasta alcanzar la presión atmosférica y de igual forma se disminuye la temperatura. Seguido a esto (por inercia del volante) el pistón asciende disminuyendo el volumen del gas confinado en el cilindro, pero además disminuyendo la masa del gas ya que este se evacua, la presión es



constante ya que desde el mismo instante en que inicia la evacuación del gas este iguala su presión con la presión atmosférica.

Por esto la relación ΔL da cuenta de la disminución tanto de la masa como del volumen del gas confinado, en la medida que va ascendiendo el pistón hacia el PMS.

Ilustración 25. Evacuación de gases por desplazamiento del pistón
(Fuente: <https://www.edumedia-sciences.com/es/media/395-motor-4-tiempos>)

En adelante el funcionamiento del motor puede asumirse en alguna medida como “autónomo” y se repetiría tantas veces como sea posible suministrar tanto combustible como chispa para generar el proceso cíclico. Sin embargo hasta este punto solo se han analizado relaciones que dan cuenta únicamente

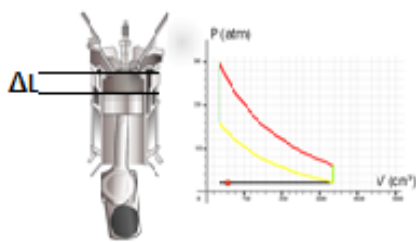


Ilustración 26. Cantidad mínima posible de materia dentro de la cámara de combustión (Fuente: <https://www.edumedia-sciences.com/es/media/395-motor-4-tiempos>)

del ciclo Otto, pero, no se ha mencionado aun la relación de transformación del movimiento unidireccional del pistón en movimiento circular de la manivela; esto sin duda implicara más relaciones espacio temporales y geométricas que dan cuenta de la dinámica del funcionamiento del motor y una organización particular sin la cual no sería posible describir este fenómeno (funcionamiento del sistema Cilindro - Pistón - Válvulas - Masa de aire – Combustible – Bujía – Cámara de combustión)

Relación de transformación de movimiento lineal a circular (sistema biela - manivela)

Es evidente desde un principio que el fenómeno del ciclo Otto analizado en el motor de combustión interna no obedece únicamente a las variaciones de presión y temperatura que se generan dentro del cilindro; sino que hay agentes externos que posibilitan mediante relaciones espaciales y temporales, una secuencia de repeticiones “similares” que conforman el funcionamiento del motor de combustión.

Una de esas primeras relaciones que se evidencian es la relación biela – manivela, es en esta relación que se hace posible el aprovechamiento del movimiento unidireccional generado por

el movimiento del pistón en interacción con el gas confinado y las paredes del cilindro que lo contiene.

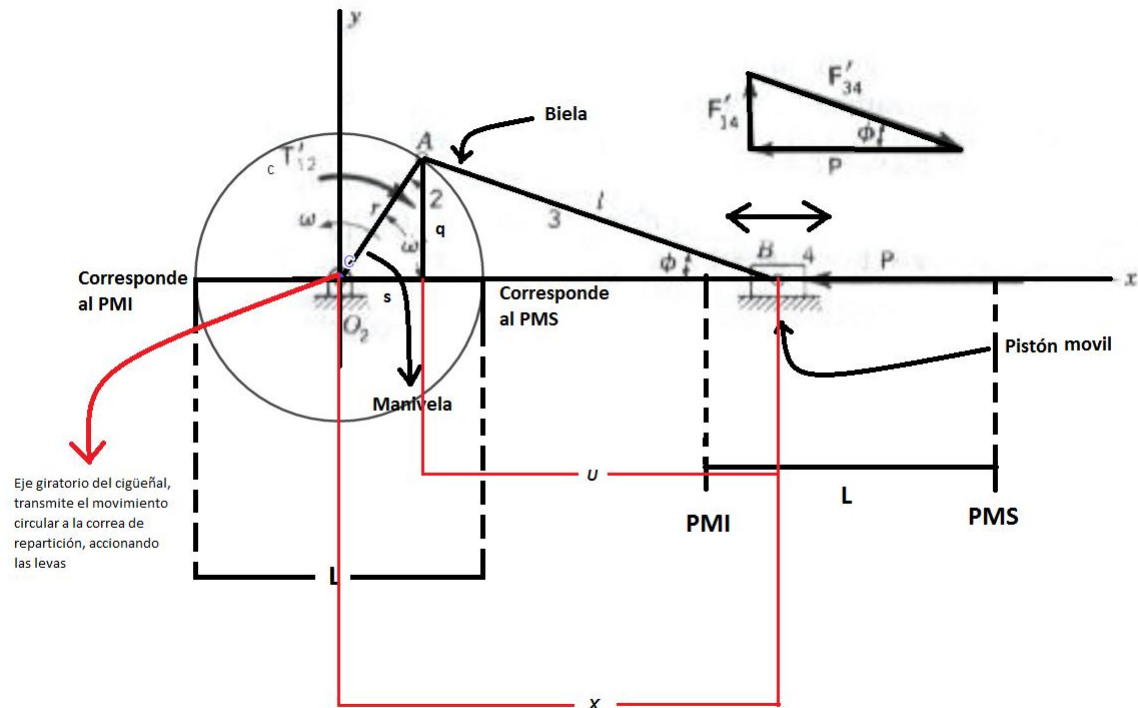


Ilustración 27. Relaciones geométricas: Sistema pistón – biela – manivela (Fuente: editado de (Gomez Herrera & Gomez Parra, 2006))

El anterior esquema hace referencia en principio a las fuerzas que generan el movimiento oscilatorio del pistón y el movimiento circular de la manivela por acoplamiento. En primera medida, si bien el movimiento del pistón es en línea recta, este movimiento es limitado por la longitud (r) de la manivela de tal forma que el barrido del pistón (máxima longitud de desplazamiento) es $2r$ desde el PMI al PMS y viceversa. Lo anterior implica que en un periodo T (correspondiente a un giro completo de la manivela) únicamente es posible que se lleven a cabo dos tiempos del ciclo (admisión – compresión o explosión - escape); por lo tanto el proceso completo corresponde a $2T$.

Estas relaciones espacio temporales implican una sincronía en los movimientos implícitos en este fenómeno, de tal forma que la acción del pistón sobre la biela esté directamente relacionada con el accionamiento de la manivela, que mediante un mecanismo de transmisión

influye en el accionamiento de las válvulas; siendo los tiempos del motor relevantes ya que un desfase puede obstruir en totalidad el funcionamiento del mecanismo objeto de estudio.

A propósito del sistema biela manivela podemos establecer las siguientes relaciones:

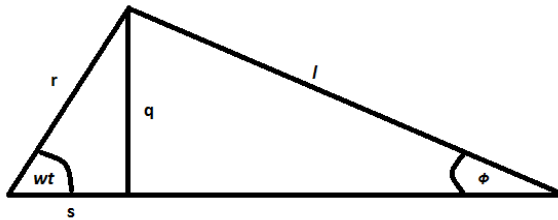


Ilustración 28. Relaciones geométricas sistema biela manivela. (Fuente: Elaboración propia)

$$q = r \sin \theta = l \sin \Phi$$

$$\theta = \omega t$$

$$\sin \Phi = \frac{r}{l} \sin \omega t$$

$$s = r \cos \omega t$$

$$u = l \cos \Phi$$

$$X = s + u = r \cos \omega t + l \cos \Phi$$

$$\cos \Phi = \sqrt{1 - \sin^2 \Phi}$$

$$X = r \cos \omega t + l \sqrt{1 - \left(\frac{r}{l} \sin \omega t\right)^2}$$

Esta función no permitiría determinar la posición del pistón en cualquier instante de tiempo, siempre y cuando podamos determinar la relación ωt (velocidad angular).

Sistema cigüeñal – repartición

Ahora, como se mencionó anteriormente; el funcionamiento del motor es un ejemplo de sincronía en una cadena de múltiples relaciones espaciales y temporales, muestra de ello es la transmisión del movimiento circular del cigüeñal por medio de la correa de repartición (o cadena de repartición) y su transformación en un movimiento lineal de las válvulas (de escape y admisión)

Con el fin de reconocer las relaciones que se establecen entre el movimiento lineal del pistón y el movimiento lineal de las válvulas que cerrarían el ciclo, se

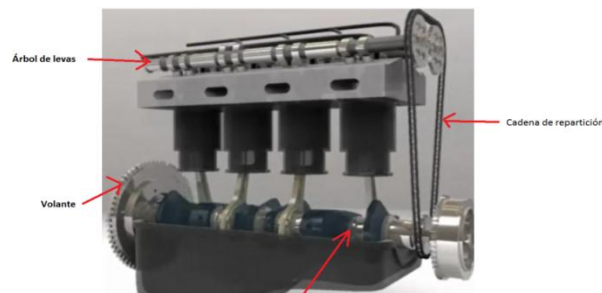


Ilustración 29. Estructura interna motor de cuatro pistones (Fuente: tomado de: <https://www.youtube.com/watch?v=58OfsvsFDtU>)

describirá con mayor detalle el funcionamiento del cigüeñal, la cadena de repartición, el árbol de levas, las levas y las válvulas. Además aun cuando se reconocen más sistemas interrelacionados con el movimiento del pistón, hasta este punto llega la descripción de las relaciones que interesan al presente trabajo, a fin de dar claridad sobre la noción de espacio que responde al análisis de la fenomenología del motor de combustión interna.

Como se afirmó líneas anteriores; gracias al juego biela manivela, el movimiento rectilíneo

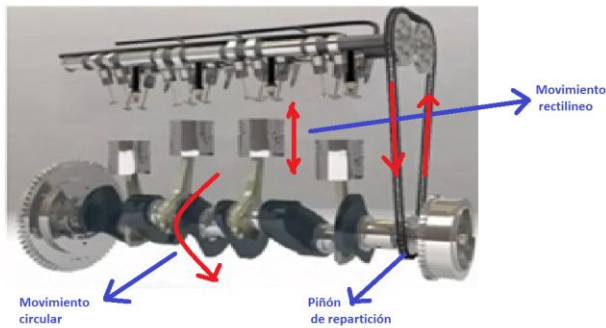


Ilustración 31. Sistema manivela – cigüeñal – volante (Fuente: Tomado de <https://www.youtube.com/watch?v=58OfsvsFDtU>)

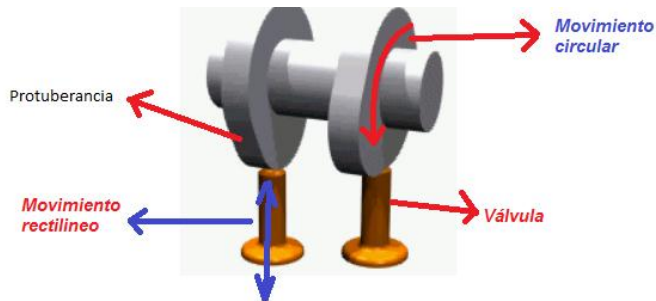


Ilustración 30. Sistema levas – válvulas de admisión (Fuente: Tomado y editado de [https://es.wikipedia.org/wiki/Leva_\(mec%C3%A1nica\)#/media/Archivo:Nockenwelle_ani.gif](https://es.wikipedia.org/wiki/Leva_(mec%C3%A1nica)#/media/Archivo:Nockenwelle_ani.gif))

que tiene el pistón al desplazarse, se transforma en movimiento rotatorio que se imprime al eje del cigüeñal y se transmite a los elementos de propulsión del vehículo. Entre estos está el piñón de repartición (disco dentado) que mediante una cadena o correa dentada se une con el sistema de distribución (disco - árbol de levas) que es el encargado de la entrada y expulsión de gases del cilindro. Para lo anterior es necesario que las válvulas se abran; estas en reposo son ajustadas por unos muelles (resortes) de gran resistencia y en tanto que estos no se contraigan, no hay posibilidad de que las válvulas

se abran. Es aquí donde entran en juego las levas, estas son unos elementos mecánico que permite la transformación de un movimiento circular a un movimiento rectilíneo.

Están incluidas en el árbol de levas (cilindro rígido rotatorio), las levas tienen una parte cilíndrica y una en cuña, esta cuña es la encargada de movilizar las válvulas; por esta razón las levas de escape y admisión están desfasadas 90° ya que corresponden a tiempos diferentes de funcionamiento en el ciclo del motor, de tal forma que cuando una de ellas está abierta, la otra está cerrada y viceversa.

La sincronía de estas válvulas depende del periodo de rotación del cigüeñal. Así en el primer recorrido descendente del pistón que corresponde a la admisión y a su vez corresponde a $\frac{T}{2}$ respecto al giro del cigüeñal, la cuña de la leva de admisión desplaza la válvula y el gas



Ilustración 32. Árbol de levas
(Fuente: Tomado de [file:///C:/Users/Administrador/Videos/TFG Oscar Junca Fernandez.pdf](file:///C:/Users/Administrador/Videos/TFG%20Oscar%20Junca%20Fernandez.pdf))

ingresa en tanto la parte cilíndrica de la leva de escape está girando sin efecto sobre la válvula, este proceso es de exactamente T periodos y en seguida es la pestaña de escape la que desplaza la válvula de admisión y permite la expulsión de los gases que ocupan el cilindro y de forma sucesiva se podría reanudar el ciclo indefinidamente.

Conclusiones en el marco de las organizaciones espaciales implícitas en la caracterización y análisis del funcionamiento del motor de combustión interna.

En este análisis (descripción) resulta interesante reconocer la organización de los elementos que interactúan; el aire, el combustible, y cada uno de los componentes mecánicos que se han mencionado. Además de las organizaciones espaciales que sin duda dan cuenta de un espacio ocupado por elementos, pero que en ningún caso se refiere a un espacio vacío; en realidad no hay necesidad de acudir a este para describir el fenómeno en su totalidad, de tal forma que es factible aceptar que desde el ensamble del mecanismo hay presencia de elementos y estos tienen unas organizaciones particulares, en las cuales la distancia y el tiempo hacen referencia del estado del gas y por ende del funcionamiento como tal del motor.

Así las relaciones espaciales que se establecen desde un principio, demarcan también unas relaciones temporales, siendo así posible la descripción del fenómeno (ciclo del motor) no solo en términos del barrido del pistón ΔL , sino que además es posible en términos del periodo (T) como el segmento de giro de la manivela barrido por unidad de tiempo ($T = \frac{\theta}{\omega}$ del cigüeñal, $\frac{4\pi}{\omega}$ para este caso); este da cuenta del desplazamiento del pistón, del giro de las levas, del desplazamiento de las válvulas y por ende de los cambios en las variables macroscópicas masa, volumen, presión, temperatura (m, V, T y P), ya que de acuerdo al tiempo de recorrido es posible pensar en aumento o descenso de temperatura, presión, masa

o volumen. Así estos tiempos nos darán cuenta en cada instante de estas variaciones aun cuando no podamos ver el desplazamiento del pistón o de las válvulas.

También sería posible establecer las relaciones de giro de las levas para dar cuenta del estado del gas y por ende de los cambios que sufren las variables macroscópicas que se han mencionado, pues los desplazamientos que se evidencian en la descripción del fenómeno, nos permiten reconocer relaciones de temporalidad entre ellos; en realidad, no es posible hablar de los tiempos del motor, sin estos ser función de los desplazamientos (rectilíneo - circular) o viceversa, siendo así las relaciones espaciales intrínsecas a las relaciones temporales.

Dentro del análisis surge un elemento adicional, la velocidad tangencial v y la *velocidad angular* w ; estas, al articular las relaciones espaciales (medidas, disposición de los elementos, desplazamientos rectilíneos y movimientos circulares) con las relaciones temporales (duración de dichos desplazamientos) que se evidencian en el funcionamiento de la máquina y por ende en el estado del gas confinado. Así las dimensiones del recorrido circular del cigüeñal y la dimensión del recorrido circular de las levas no son al azar; estas dimensiones se pueden establecer reconociendo los recorridos angulares (longitud de arco) θ de cada una de las secciones circulares y puesto que estos recorridos obedecen idealmente a un movimiento circular uniforme, en el cual tanto el cigüeñal como las levas dan un determinado número de vueltas por unidad de tiempo (relación que se establece como velocidad angular w).

Además la cantidad de giros tanto del cigüeñal de acuerdo al funcionamiento del motor y en consecuencia al ciclo Otto, tiene una relación de 2:1 con respecto a los giros de las levas. Sin embargo la velocidad tangencial (v) de las secciones circulares es la misma en correspondencia con la acción transmisora de movimiento de la correa o cadena de repartición; de tal forma que la velocidad angular para la manivela sea w_2 , la velocidad angular para la leva sea w_1 , la velocidad tangencial para la manivela sea v_2 y la velocidad tangencial para la leva sea v_1 y $v = v_1 = v_2$ siendo v la velocidad lineal en la correa, así se puede establecer que:

$$\text{Si } v = wr \text{ velocidad tangencial y } w = \frac{\theta}{t},$$

Para el caso de una vuelta completa podemos decir que:

$$w = \frac{2\pi}{t}$$

Entonces $v_1 = w_1 r_1$ y $v_2 = w_2 r_2$

$W_1 =$

Como $v_1 = v_2$

Tenemos que

$$w_1 r_1 = w_2 r_2$$

Por lo tanto como se establece que la relación de giro entre la biela y la leva es de 2:1

Resulta que $\frac{2\pi}{t} r_1 = \frac{4\pi}{t} r_2$

De tal forma que $r_1 = 2r_2$

Esto pareciese ser contradictorio ya que en la estructura del motor que se ha venido analizando, la magnitud del recorrido de la manivela es mayor a la magnitud del recorrido de la leva; sin embargo esto obedece a que la correa de repartición o transmisión esta acoplada por dos discos dentados que obedecen a la relación $r_1 = 2r_2$

Teniendo como precedentes las anteriores consideraciones se pueden establecer las siguientes interpretaciones.

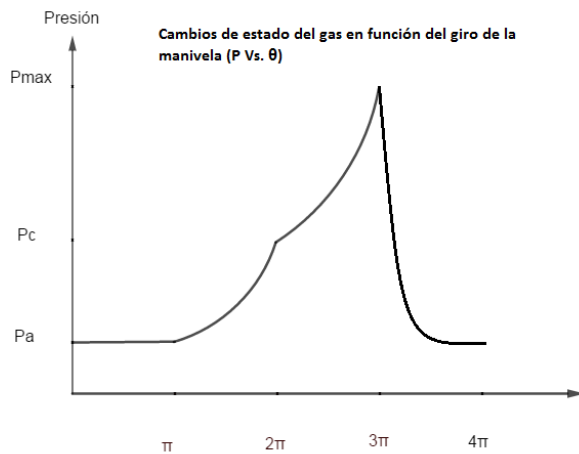
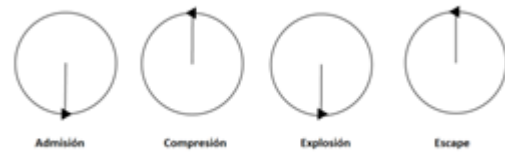


Ilustración 33. Relación del giro de la manivela con el cambio de presión al interior del cilindro (Fuente: Elaboración propia)

Aquí es relevante mencionar que en el preciso instante en que la presión alcanza su máximo es el único momento en el que el motor realiza trabajo sobre el cigüeñal, propiciando de alguna forma el inicio del ciclo autónomo del motor, ya que en otros instantes cuando la presión es menor el movimiento de ascenso o descenso del pistón que se traduce en movimiento circular en el cigüeñal es debido a la inercia del volante, que de acuerdo a sus disposiciones geométricas permite la conservación de la movilidad del cigüeñal hasta que el motor nuevamente realiza un trabajo que lo impulsa.

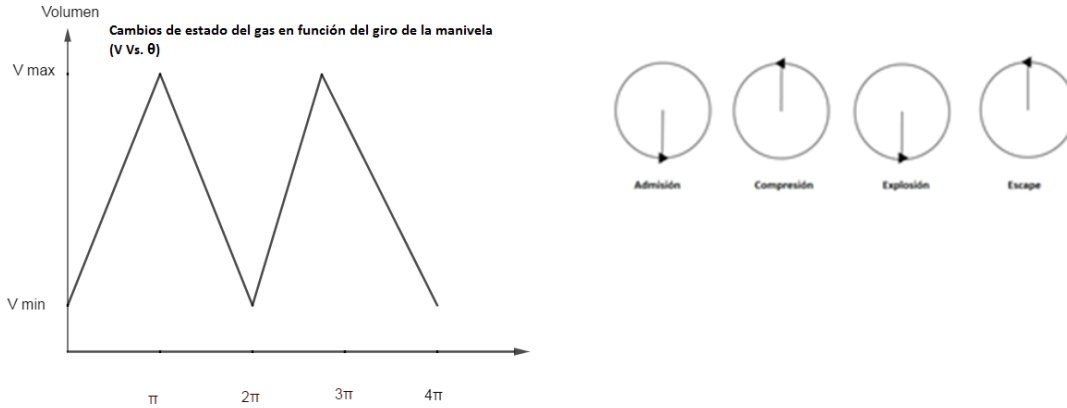


Ilustración 34. Relación del giro de la manivela con el cambio de volumen ocupado por el gas al interior del cilindro (Fuente: Elaboración propia)

En este gráfico es posible reconocer una particularidad, esta es el volumen mínimo del que se puede hacer referencia en el cilindro del motor, este va a ser la mínima capacidad o espacio que puede ocupar el gas, aquí cabría la posibilidad de pensar en un pistón ideal en el que sea posible tener un volumen infinitamente pequeño, o pensar en las implicaciones de no tener una cámara de combustión y poder comprimir hasta que lo que se denominó ΔL sea casi cero.

En este caso resultan varias cosas interesantes de analizar y una de ellas es el caso en que el motor inicia su etapa de admisión, para este caso de forma ideal se podría pensar que es posible un mayor ingreso de mezcla de gas para la combustión ya que la parte destinada para la combustión inicialmente llena de aire, se llenaría de gas teniendo así una capacidad mayor.

Por otra parte es posible reconocer que un gas comprimido de tal forma que ΔL tienda a cero demandaría un esfuerzo infinitamente grande, ya que a medida que el volumen que ocupa el gas, es reducido, se hace necesario un esfuerzo cada vez mayor sin contar en el momento en el que al ser tal la compresión el gas cambie de estado (se condensa) y se transforme en un líquido incompresible con una temperatura que ha aumentado gradualmente por la presión que se ejerce sobre él.

Lo anterior demarca una condición muy importante, y tal vez una contradicción ante el hecho, ya que no es posible que ΔL sea cero en ningún momento independiente de la configuración que se establezca, ya que los líquidos no son compresibles y en un estado de condensación

sería aún menos probable una compresión. Sin embargo si se comprimiera el gas hasta un instante preciso antes que se dé el cambio de estado, el motor realizaría un mayor trabajo, debido al incremento en la diferencia de temperatura y presión, que se pueden asociar al cambio drástico de volumen de la mezcla.

Por otra parte si fuera posible generar una diferencia considerable de presión entre el cilindro y el ambiente (para el escape) se generaría un vacío en el interior del cilindro, de tal forma que el llenado sería más rápido y mayor.

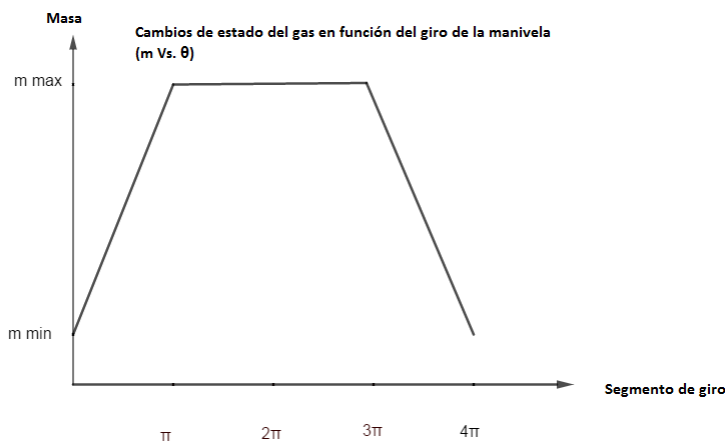
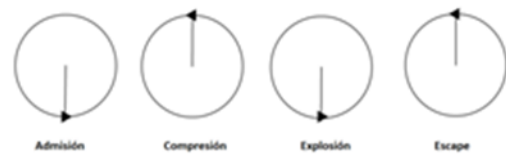


Ilustración 35. Relación del giro de la manivela con el cambio en la cantidad de masa de gas al interior del cilindro (Fuente: Elaboración propia)

Continuando el análisis es posible reconocer además que la cantidad de masa contenida dentro del cilindro tampoco es nula en ningún instante; esto es debido a que la recámara de combustión todo el tiempo es contenedora, en inicio de aire y después de aire mezclado con residuos de la combustión. Además se puede reconocer que hay cuatro puntos de

convergencia, dos en los cuales se reconoce un volumen máximo y dos en las que se reconoce un volumen mínimo, sin embargo representan dos tiempos diferentes del funcionamiento del motor, de los cuales no sería fácil dar cuenta sin hablar de relaciones de temperatura o presión ya que en términos de masa son idénticos. Estos puntos hacen referencia a la compresión y la explosión (siendo estos momentos en los que la cantidad de materia es la misma) y el inicio de la admisión y la finalización del tiempo de escape, en estos dos momentos la cantidad de masa es la mínima, sin embargo las diferencias de temperatura son considerables ya que en la primera el gas combustible está a una baja temperatura por lo tanto el cilindro también, y en la segunda en el cilindro se ha realizado la combustión y es claro que la temperatura es mucho mayor hasta el preciso instante en que sale todo el gas.

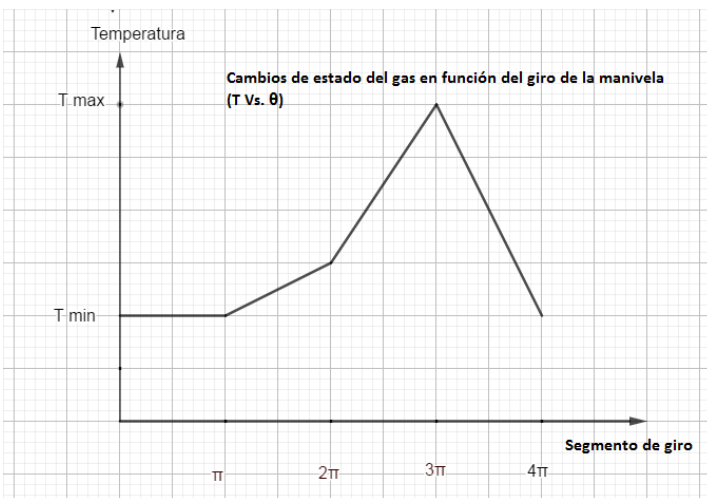
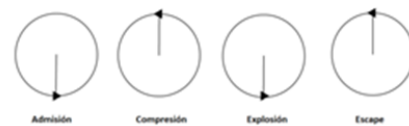


Ilustración 36. Relación del giro de la manivela con el cambio de temperatura al interior del cilindro (Fuente: Elaboración propia)

En esta gráfica se puede reconocer que es en el instante en que hay una mayor temperatura en el pistón, cuando se realiza trabajo sobre el cigüeñal, o del motor al entorno, en los otros casos el movimiento responde una vez más a la inercia del volante.

Caracterización del espacio en el caso del motor eléctrico

El presente análisis corresponde al funcionamiento del motor eléctrico como un proceso de interacción entre campos magnéticos (como formas de organización espacial específicas) de igual o distinta naturaleza. Lo que hace necesario incluir aspectos relacionados al magnetismo y al electromagnetismo como base del funcionamiento del artefacto eléctrico.

El motor que se va a mencionar a continuación es didáctico y el único fin que pretende es la comprensión del funcionamiento de un motor de inducción magnética, este trae de base la generación de movimiento a partir de una corriente eléctrica que circula por una disposición particular de embobinado. Por lo anterior no se analizará el rendimiento o eficiencia del motor para realizar alguna actividad en particular, pues únicamente se desea generar movimiento y dar cuenta del mismo.

Sin embargo estos dispositivos permiten asociar de forma intrínseca las aplicaciones de uso doméstico, comercial e industrial de las cuales se hace uso de forma cotidiana. En aplicaciones domésticas, la utilización de los motores eléctricos alcanza un alto grado; ya que, se observa su uso desde licuadoras, ventiladores, bombas de agua, aspiradoras, etc.

Estructura y funcionamiento del motor solenoide:

Este motor permite la transformación de energía eléctrica en energía mecánica mediante un interruptor permanente que activa y desactiva un electroimán que atrae una puntilla de hierro y mediante una organización mecánica se genera un movimiento rotacional.

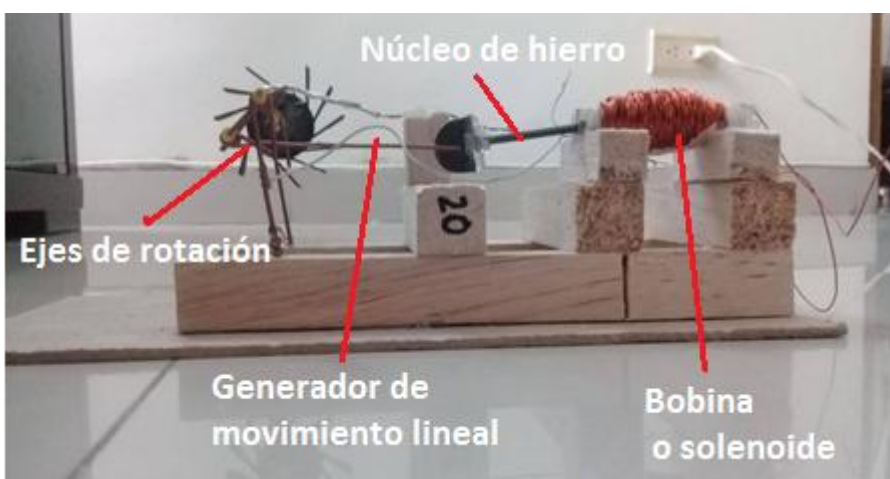


Ilustración 37. Vista lateral derecha del motor solenoide (Fuente: Elaboración propia)

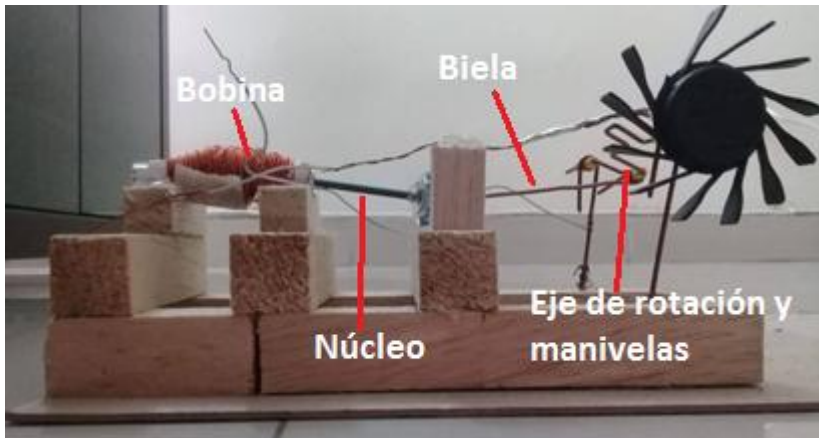


Ilustración 38. Vista lateral izquierda del motor solenoide (Fuente: Elaboración propia)



Ilustración 39. Vista superior del motor solenoide (Fuente: Elaboración propia)

Para dar cuenta del funcionamiento del motor que se muestra en las figuras anteriores se presentan una serie de esquemas con el fin de reconocer los recorridos de la corriente, la generación del campo magnético inducido en la bobina, la producción de movimiento lineal del núcleo de hierro y la biela; y la transformación del movimiento lineal en circular por el juego de manivelas que accionan tanto la hélice como el interruptor de paso de corriente.



Ilustración 40. Bobina motor solenoide (Fuente: Elaboración propia)

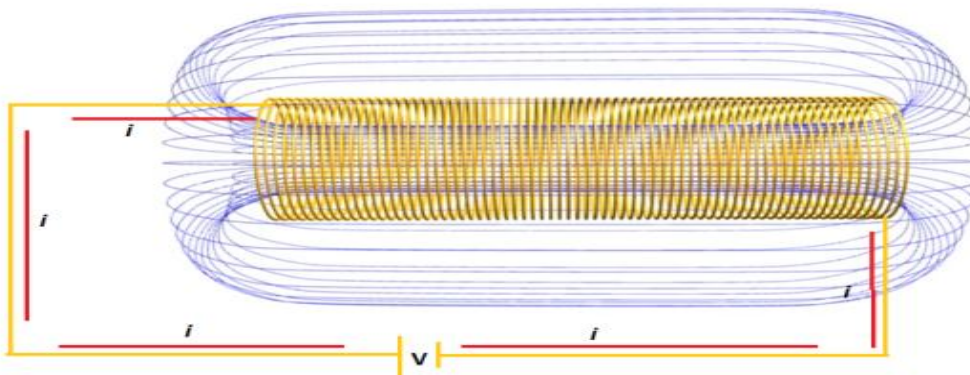


Ilustración 41. Esquema del flujo de corriente y generación del campo magnético de la bobina del bobina motor solenoide

Inicialmente tenemos una bobina con 500 vueltas de alambre de cobre calibre 22, sobre la que circula una corriente de 3,24 A, al estar sometida a una diferencia de potencial de 19V y por ende se genera un campo magnético más intenso en el centro de la bobina, inducido por dicha corriente.

Esto responde a la regla de la mano derecha para determinar la dirección del vector \vec{A} , la dirección del momento magnético $\vec{\mu}$ es la misma que la dirección del vector \vec{A} .

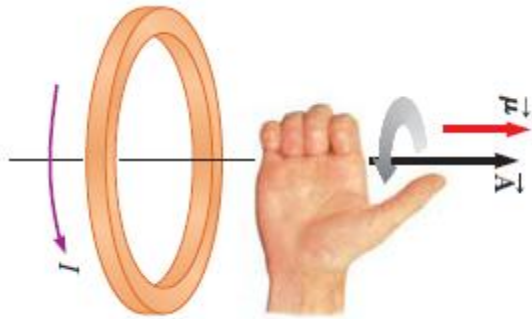


Ilustración 42. Regla de la mano derecha para determinar el sentido de la fuerza generada por el campo magnético producido por una espira sobre la cual circula una corriente (Fuente: tomado de (Raymond, 1982, pág. 823))

Para el caso de la bobina existe una correspondencia con esta dirección del campo magnético $\vec{\mu}$ y se dará una superposición de campos magnéticos generados en cada espira.

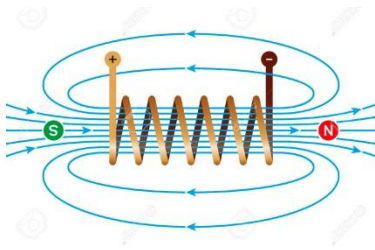


Ilustración 43. Diagrama campo magnético generado por una corriente que circula por una espira (Fuente: Tomado de https://es.123rf.com/photo_64054956_el-campo-magn%C3%A9tico-de-una-bobina-de-transporte-de-corriente-bobina-electromagn%C3%A9tica-conductor-hecho-de-u.html)

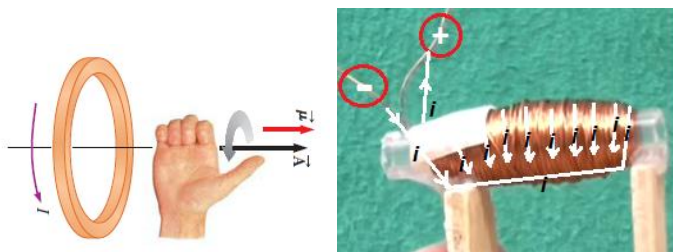


Ilustración 44. Diagrama representando la dirección de la corriente que fluye a lo largo de la espira (Fuente: Elaboración propia)

El campo magnético generado en la bobina por la circulación de corriente, es la base del funcionamiento del motor, ya que es este campo el que atrae hacia el interior de la bobina una puntilla de hierro y esta, de acuerdo a la organización espacial y mecánica que se establece, es la que genera un movimiento rectilíneo.



Ilustración 45. Sistema de atracción bobina – barra de hierro (Fuente: Elaboración propia)

Puesto que la bobina al circular una corriente eléctrica por ella se comporta como un electroimán y este cuerpo magnético atrae materiales ferromagnéticos por lo que la puntilla es movida en dirección de la misma.



Ilustración 46. Dirección de desplazamiento de barra de hierro debido a la interacción con el campo magnético generado al interior de la bobina (Fuente: Elaboración propia)

Este motor tiene un mecanismo que responde al funcionamiento común de los motores que es generar movimiento circular. Para tal funcionamiento posee una organización de un par de manivelas desfasadas 180° , a fin de que en el momento que una de ella apunta hacia arriba la otra debe estar apuntando hacia abajo; una de ellas transforma el movimiento rectilíneo en circular al desplazarse de su posición inicial y la otra sirve de interruptor para el paso de corriente en el momento en que esté apuntando hacia arriba.

Aquí es importante identificar la relación de movimiento que presentan estas dos manivelas, ya que para que la manivela (interruptor) se accione es necesario que esta esté dispuesta de forma perpendicular al plano del motor y además haya un desfase de 180° con respecto a la manivela de transformación de movimiento, solo en esta posición es posible que la corriente

circule por la bobina; en otras palabras es solo en este momento en el que el motor realiza trabajo sobre todo el sistema, pues el ciclo de funcionamiento continúa gracias a la inercia del sistema.

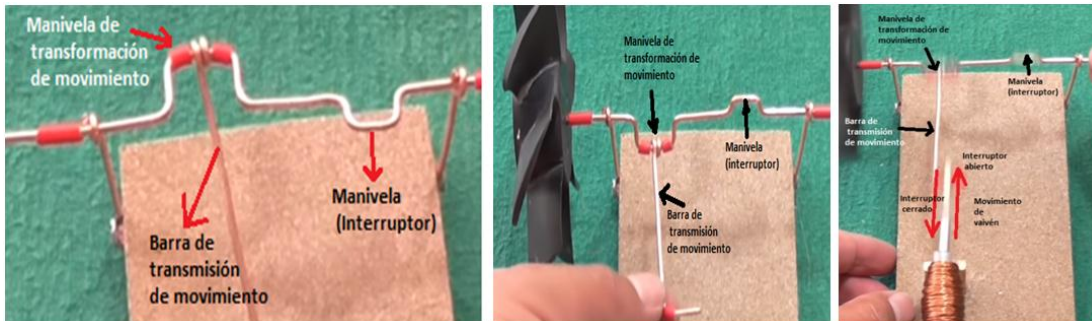


Ilustración 47. Sistema de transformación de movimiento lineal a circular (Fuente: Elaboración propia)

Esto quiere decir que la barra de transmisión (como dispositivo que se ha diseñado con el fin de transmitir el movimiento que se genera en el momento en que la puntilla es atraída hacia el centro de la bobina cuando se cierra el interruptor) solo será movida de forma autónoma por el sistema cuando haya circulación de corriente, en el instante posterior se moverá gracias a la rotación de la manivela de transformación de movimiento que continúa su ciclo (360°) y de forma simultánea la manivela (interruptor) continuará su ciclo de movimiento (360°) hasta llegar a su punto más alto y de nuevo permitir el paso de corriente para dar inicio al ciclo.

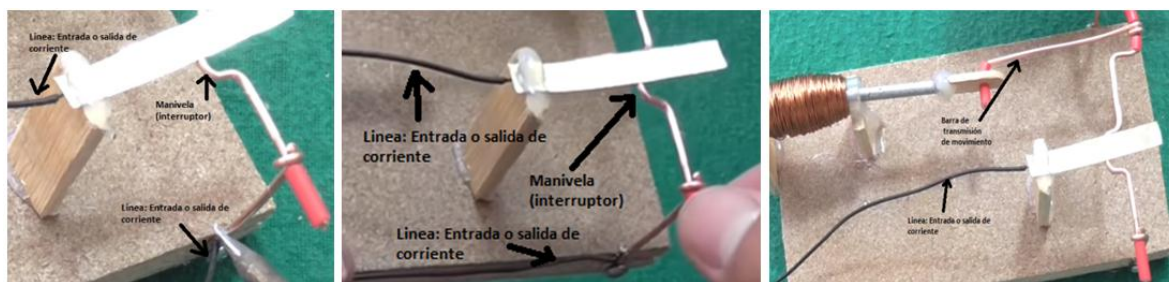


Ilustración 48. Sistema de interruptor intermitente del paso de corriente (Fuente: Elaboración propia)

En estos términos se puede establecer un punto de inicio (pensado como el funcionamiento autónomo del sistema) que corresponde a la siguiente organización (pensando en el plano sobre el que está dispuesto el motor como un punto de referencia y por ende corresponde a 0° de inclinación):

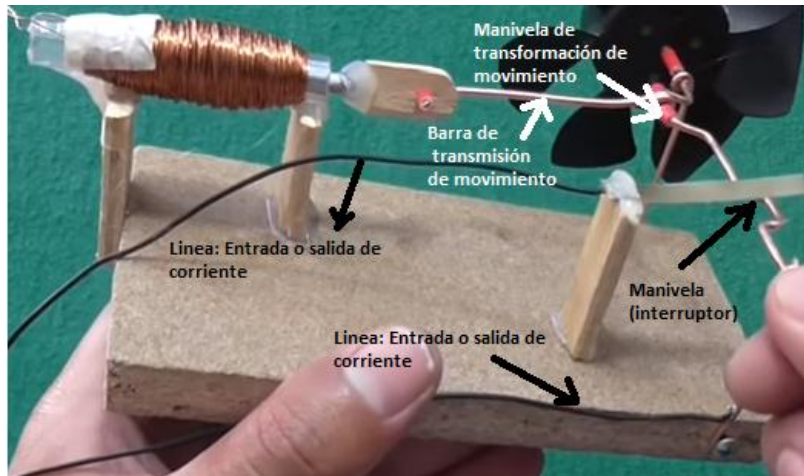


Ilustración 49. Esquema de funcionamiento del motor solenoide, sistema de generación de campo magnético, eje de movimiento lineal, sistema de transformación de movimiento e interruptor intermitente.

El ciclo inicia cuando la manivela (interruptor) tiene una inclinación de 90° con respecto a una horizontal paralela al plano (base del motor), en este preciso momento la manivela de transformación de movimiento se ubica en el punto as bajo posible de su rotación, a 270° con respecto a dicha horizontal, por lo que necesariamente es halada hacia el centro de la bobina 90° , en este instante el campo magnético dentro de la bobina es nulo (cero) por lo que la manivela continúa su rotación 270° completando su giro; de igual forma sucede con la manivela (interruptor), pues esta esta acoplada a la manivela de trasformación lo que hace corresponder los segmentos de giro sin importar el desfase, por lo que completa su giro y nuevamente acciona el interruptor por un intervalo de tiempo muy pequeño.

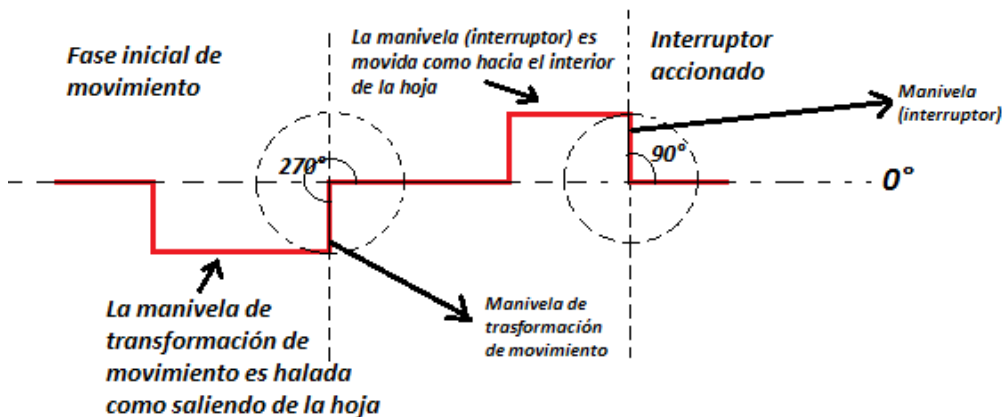


Ilustración 50. Relación geométrica espacial entre el sistema de transformación de movimiento y el interruptor del paso de corriente (Fuente: elaboración propia)

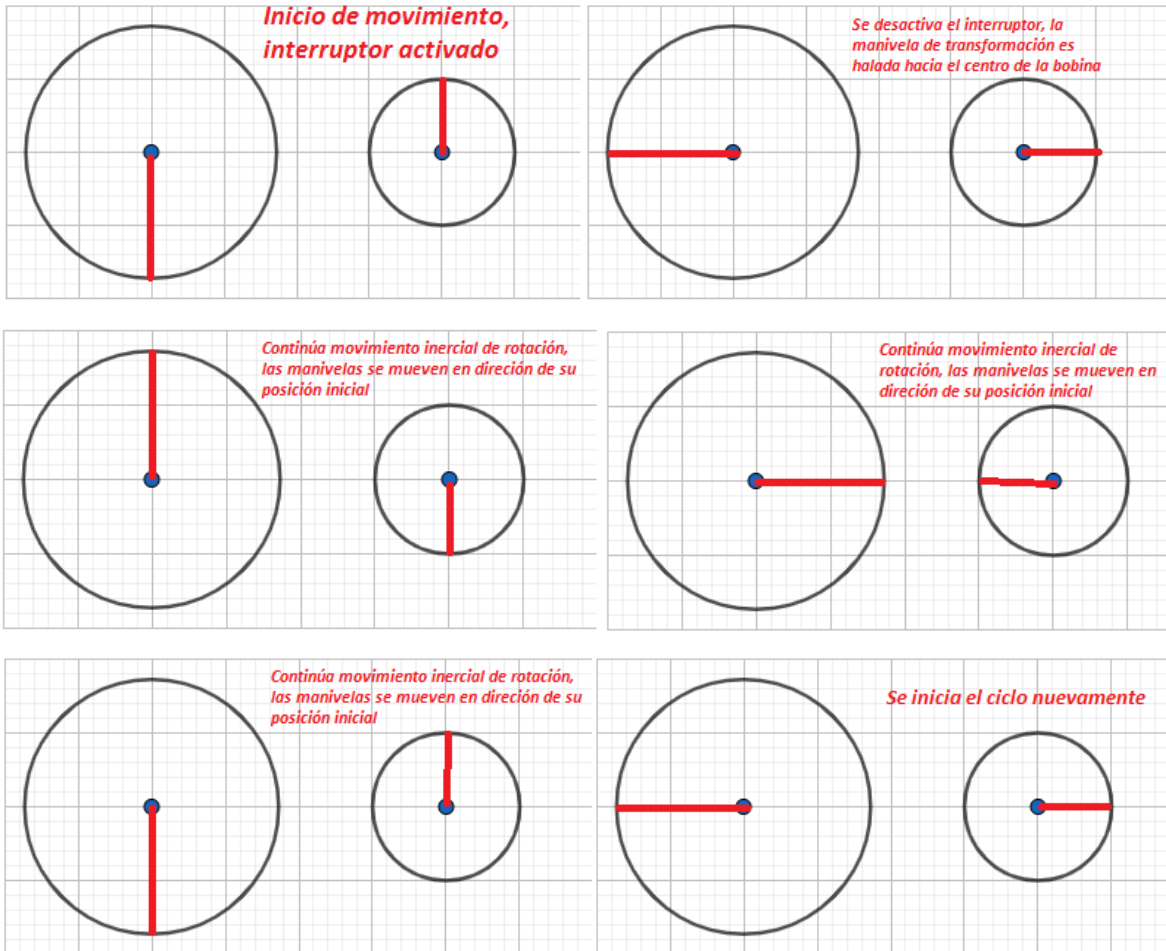


Ilustración 51. Relaciones de posición espacial del sistema de transformación de movimiento y el interruptor (Fuente: elaboración propia)

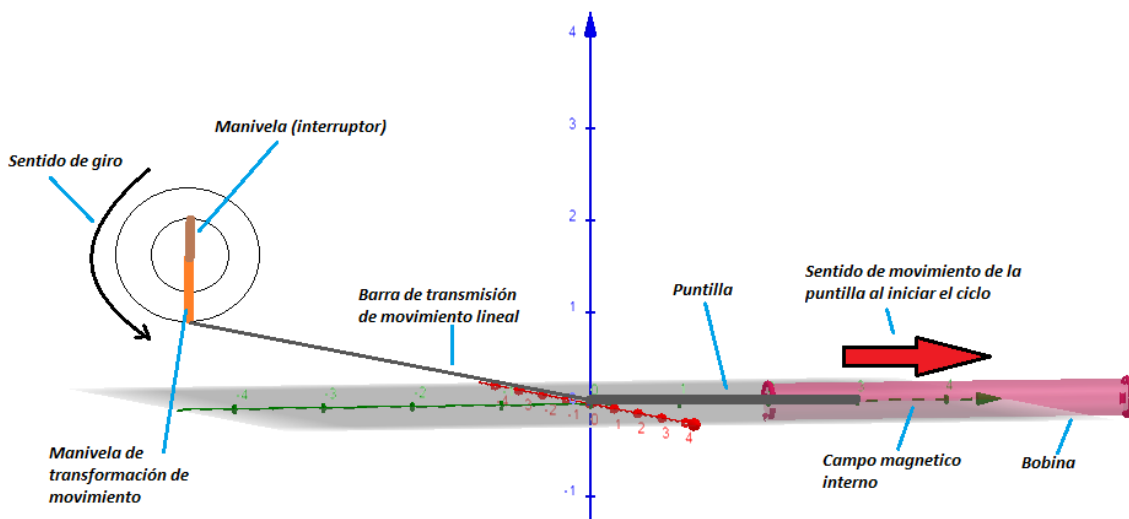


Ilustración 52. Diagrama sistema fases de rotación y desplazamiento por atracción de la puntilla (cuerpo ferromagnético) al interior de la bobina. (Fuente: Elaboración propia)

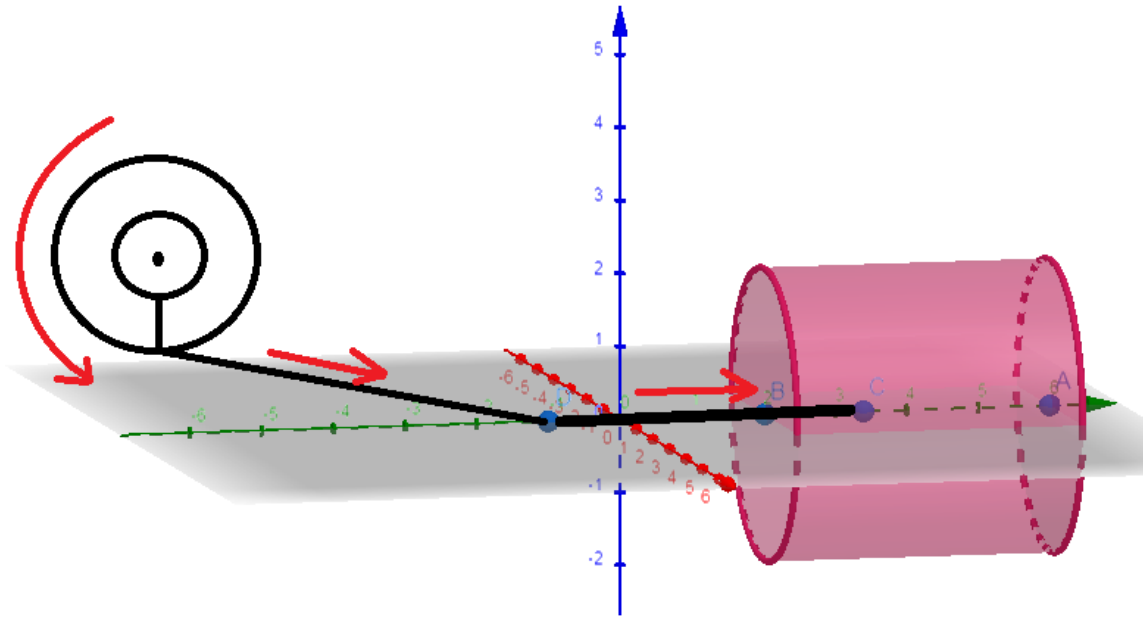
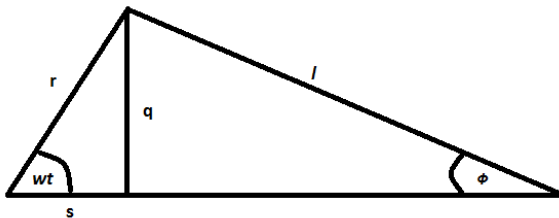


Ilustración 53. Diagrama de acople y dirección de movimiento para el sistema (manivela - puntilla) (Fuente: elaboración propia)

Las siguientes relaciones me permiten establecer una posición para la puntilla en cualquier instante de tiempo, siempre y cuando podamos establecer la relación ωt (velocidad angular).



$$q = r \sin \theta = l \sin \Phi$$

$$\theta = \omega t$$

$$\sin \Phi = \frac{r}{l} \sin \omega t$$

Ilustración 54. Relaciones geométricas entre la manivela y el desplazamiento de la puntilla (Fuente: Elaboración propia)

$$s = r \cos \omega t$$

$$u = l \cos \Phi$$

$$X = s + u = r \cos \omega t + l \cos \Phi$$

$$\cos \Phi = \sqrt{1 - \sin^2 \Phi}$$

$$X = r \cos \omega t + l \sqrt{1 - \left(\frac{r}{l} \sin \omega t\right)^2}$$

Estas relaciones espaciales obedecen al sistema biela - manivela de transformación de movimiento de acuerdo al siguiente esquema.

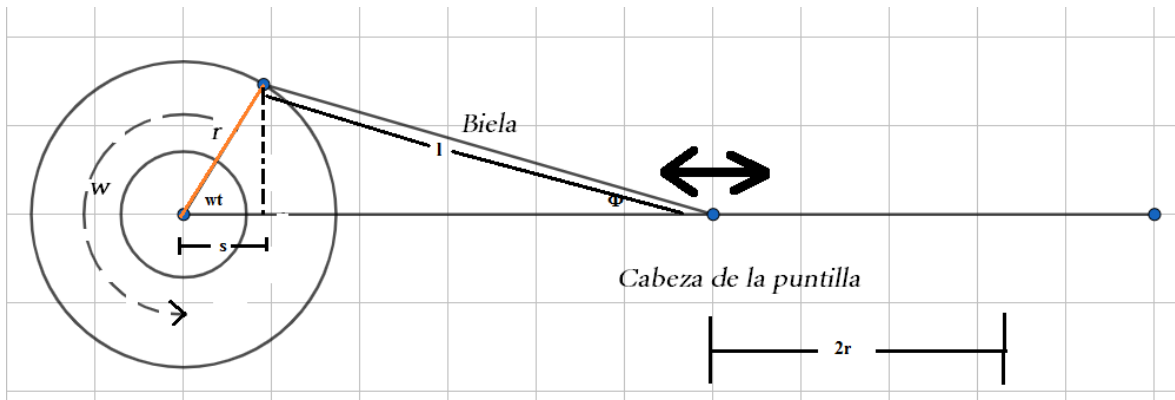


Ilustración 55. Sistema de transformación de movimiento lineal a circular (Fuente: elaboración propia)

Conclusiones en el marco de las organizaciones espaciales implícitas en la caracterización y análisis del funcionamiento del motor eléctrico solenoide.

En este análisis es necesario destacar la interacción como una forma de organización entre los distintos elementos que componen el motor eléctrico, donde cada uno de los elementos estructura una organización espacial determinada con relación a la estructura y funcionamiento. En estos términos la estructura hace relación a la organización espacial y reconocimiento de los distintos elementos junto con los conceptos que se asocian a los mismos, siendo así importantes las nociones de corriente eléctrica y el sentido de circulación, la generación de campos magnéticos, la generación de movimiento (rectilíneo inicialmente) como producto de la interacción entre un conductor y una corriente que circula sobre él, que se constituye en una nueva configuración espacial; además de la transformación de dicho movimiento lineal en circular con base en el acople de sistemas mecánicos consecutivos como formas espacialmente organizadas.

Por lo anterior es posible afirmar que en el momento que se intenta dar cuenta del funcionamiento de un motor eléctrico (solenoide para el presente caso), dicho funcionamiento se establece como un conjunto de relaciones entre elementos que de una u otra forma configuran el espacio de un modo particular, dichas configuraciones espaciales en interacción son las garantes del funcionamiento del motor y por ende dan la posibilidad de organizar el fenómeno (funcionamiento de motor eléctrico solenoide).

A continuación se relaciona una serie de gráficas que ilustran las relaciones entre corriente y campo magnético en función de las organizaciones espaciales que se establecen entre la manivela que acciona el interruptor y el campo magnético generado al interior de la bobina.

En este punto es necesario destacar que la experiencia consiste en identificar los instantes en los cuales se genera un campo magnético al interior de la bobina, sin embargo no se cuantifica dicho campo.

En primera medida se describe la percepción del campo magnético en función del giro que realiza la manivela del interruptor, de tal forma que una vuelta completa corresponde a 2π radianes, ya que es en este periodo en el que se acciona el interruptor, generando flujo de corriente sobre la bobina y por ende un campo magnético que se percibe al desplazar espacialmente una determinada longitud la puntilla sobre el eje interior de la bobina y repitiendo el ciclo de forma indefinida, en tanto que haya la posibilidad de proporcionar una diferencia de potencial en los terminales del circuito.

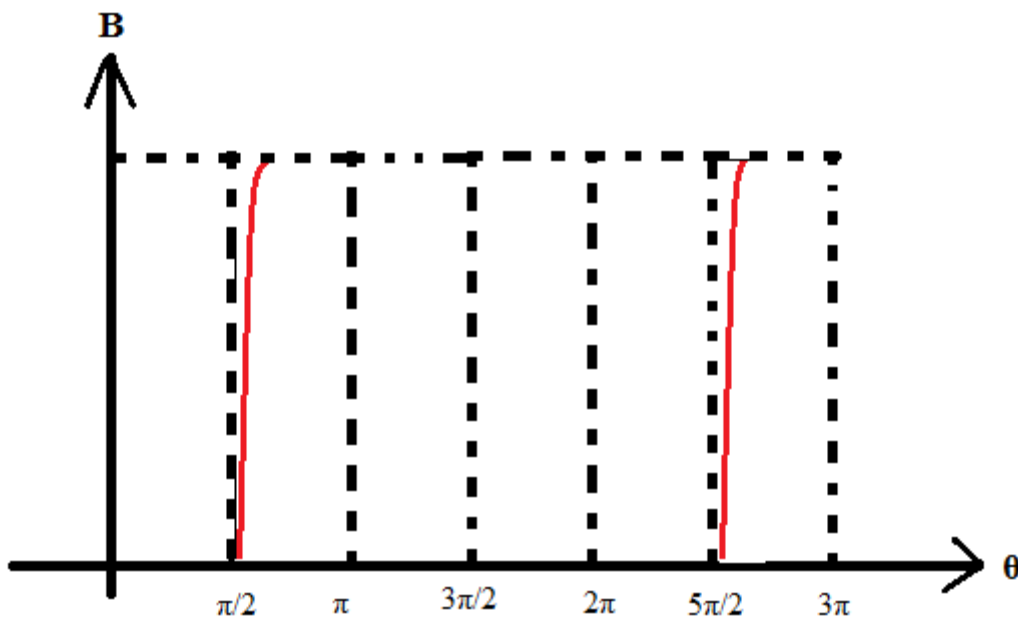


Ilustración 56. Variación del campo magnético en función del desplazamiento circular de la manivela interruptor (Fuente: elaboración propia)

Las líneas rojas demarcan la aparición temporal del campo magnético en un pequeño instante de tiempo en el que durante el giro la placa (interruptor) cierra el circuito, así, la corriente depende de la disposición espacial del (interruptor), al igual que el campo magnético. Aquí es posible describir el campo magnético que se genera en función del movimiento circular que se da gracias al mecanismo de las manivelas.

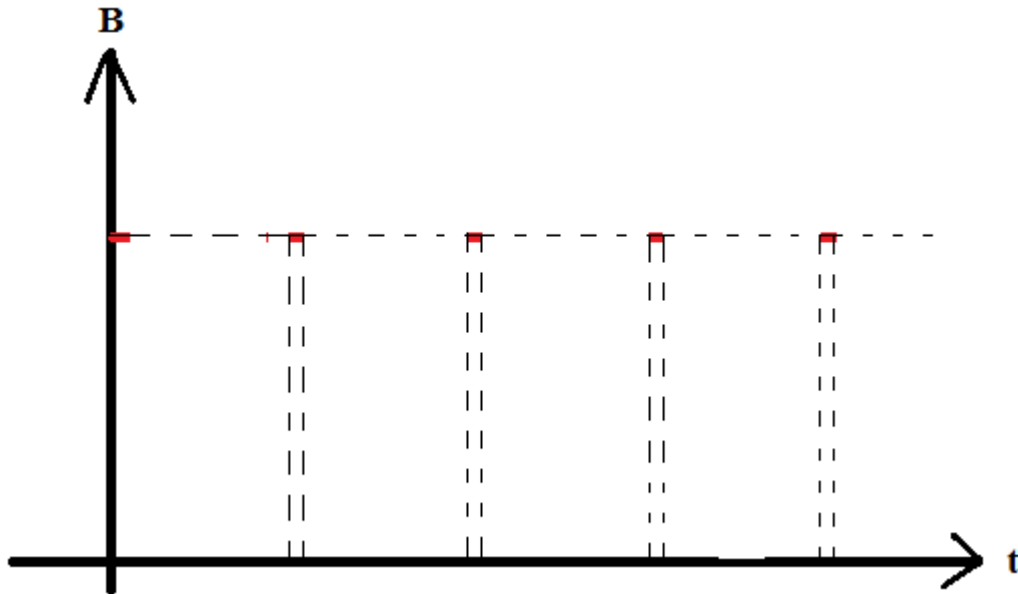


Ilustración 57. Percepción temporal del campo magnético (Fuente: elaboración propia)

En el anterior gráfico se pretende representar la percepción del campo magnético con relación al tiempo. Aun cuando no fue posible realizar ningún tipo de medición de dicho tiempo, la percepción del efecto es casi instantánea; las relaciones espaciales que aquí entran en juego nos permiten reconocer una gran velocidad de giro, pues las distancias que recorre tanto la manivela que mueve la puntilla, como la manivela que acciona el interruptor tardan tan solo fracciones de segundo en dar una vuelta completa, esto hace que la inducción del campo magnético es temporal y depende completamente de la organización espacial del sistema mecánico.

Además de esto es relevante mencionar que la bobina es la encargada de organizar de una forma particular el espacio y poner en juego cada uno de los dispositivos que conforman el sistema, de este modo las distancias entre los cuerpos que se desea interactúen es relevante, en el caso de la puntilla no solo es necesario el eje que permita su desplazamiento lineal, sino que reconociendo la dependencia de la acción del campo magnético con respecto a la distancia en que se encuentren cuerpos que puedan ser afectados, es indispensable en términos del funcionamiento.

Finalmente al analizar este fenómeno, no se hace necesario el análisis de la idea de vacío; aun cuando tampoco es evidente la idea de continuidad, ya que no se requiere de un espacio

contenido de cosas- { adicionales a las que conforman el dispositivo (en la realidad), pues el aire, o cualquier otro elemento que rodee el dispositivo se pueden despreciar debido a la naturaleza del análisis, en un caso ideal si será seguramente necesario analizar la influencia del medio que rodea el dispositivo a fines de pretender un mayor rendimiento del motor solenoide.

Capítulo IV: Propuesta, implementación y análisis de actividades en el estudio de tres fenómenos: El caso de las densidades, el caso de lo magnético y el caso de lo Electromagnético.

A continuación se describen una serie de actividades intencionadas que se llevan al aula de clase, en donde se trabajan nociones espaciales como base fundamental en la organización y comprensión de fenómenos físicos. Por lo anterior, los procesos de medición, la ubicación, la variación, el movimiento; y nociones topológicas de cercanía, lejanía, lateralidad resultan ser inherentes en el proceso de formalización de fenómenos físicos. Para este trabajo se constituyen como fenómenos el sumergir un cuerpo; la atracción y repulsión con base en la configuración de los polos de un imán; el funcionamiento de un generador eléctrico y el funcionamiento de un motor eléctrico.

Por lo anterior la estructura del texto que se presenta a continuación será la siguiente:

Iniciando se presentan tres conjuntos de actividades que permiten el análisis de tres tipos de fenómenos distintos. En principio se un análisis del fenómeno de hundimiento (cuerpo sumergido en un líquido) como una relación de densidades; siendo la densidad una organización espacial particular que permite establecer la diferencia entre cuerpos y vecindades. Por otra parte se realiza una descripción de los conceptos asociados hacia la construcción de la fenomenología de lo magnético como una organización espacial determinada de las regiones que rodean un cuerpo magnético, siendo importante además la construcción de la noción de campo magnético y la organización tridimensional del mismo. Finalmente con la construcción de artefactos como el electroimán, el generador eléctrico y el motor eléctrico como herramientas que amplían la experiencia del estudiante; se proponen un conjunto de experiencias que permiten la construcción de interpretaciones, argumentos y explicaciones de los fenómenos físicos asociados a la fenomenología de lo electromagnético con relación a las disposiciones espaciales que se describen al dar cuenta del funcionamiento de cada uno de los artefactos. Al finalizar cada conjunto de actividades se realiza un análisis particular de cada experiencia vivida en el aula.

Primera actividad a propósito de los cuerpos que se sumergen en un fluido.

A continuación se describe una actividad que tiene como objetivo identificar relaciones espaciales que hacen posible el análisis del concepto de densidad (propuestos por libros de texto), como una forma de distinción e interacción entre diferentes cuerpos; en esta actividad se relacionan procesos de observación con procesos lógicos a fin de ampliar la experiencia de los estudiantes, acercándolos al fenómeno y abriendo la posibilidad de organizar la experiencia otorgándole un sentido y significación propia. En consecuencia es necesario aclarar que, para la comprensión del proceso que se ha desarrollado en el aula, se describirán de forma simultánea las actividades propuestas y los resultados que de ellas se derivan; ya que esta actividad (si bien tiene una intención particular) no se ha propuesto a los estudiantes como una guía de trabajo, sino como la búsqueda de una solución para alcanzar metas sencillas como medir distancias, sumergir objetos en un fluido y responder el cuestionamiento ¿Por qué algunos cuerpos se hunden en un líquido?

El análisis se realizará de acuerdo a tres momentos particulares propuestos como: “Configurando un cuerpo y la noción de densidad a propósito de los cuerpos que se sumergen en un fluido”, “Elaboración de objetos sólidos con diferentes densidades” y “sumergiendo cuerpos en un fluido”.

Configurando un cuerpo y la noción de densidad a propósito de los cuerpos que se sumergen en un fluido.

La siguiente secuencia tiene como finalidad establecer diferencias entre cuerpos de acuerdo a las relaciones que se organicen entre su volumen y su masa, de esta forma también se pretende que este tipo de relaciones demarque una serie de diferencias entre los cuerpos y las vecindades, para en una etapa final lograr una representación de la abstracción del objeto, dejando de lado algunas características no cuantificables. Para lo anterior se establecen tres etapas.

La primera etapa está dirigida al reconocimiento de las formas geométricas (sólidas), su composición y características generales; aquí se pretende establecer una diferenciación entre las formas geométricas sólidas y las figuras geométricas planas, además de reconocer la dimensión de los objetos como una generalidad que los agrupa. De tal forma que hablar de

longitud, superficie y volumen, corresponda a una, dos y tres dimensiones que se asocian a una región en el espacio.

La segunda etapa inicia con la elaboración de cuerpos sólidos (formas geométricas) variando la composición a fin de que las densidades sean distintas, pero manteniendo un mismo volumen. Aquí es importante establecer la idea de límite, vecindad y región; de tal manera que sea visible la posibilidad de asignar una región en el espacio a un objeto, pero además que se pueda reconocer la posibilidad de abstraer el objeto a fin de analizarlo (dejando de lado algunas variables que no se pueden cuantificar) siendo así el número de variables (inicialmente numerosas) reducido de acuerdo al objetivo del estudio.

Así el estudiante puede establecer criterios para la selección de variables según sea preciso para sus necesidades; en el caso particular que se tratará, será posible dejar de lado características como color, olor, sabor, suavidad, dureza, textura, etc., y se puntualizará en la masa, el volumen y la relación que se puede establecer entre estas dos variables, para dar cuenta de características particulares del cuerpo o los cuerpos que se van a analizar. Siendo así las relaciones que se establecen entre masa y volumen de un cuerpo, configuraciones particulares que conforman un lugar particular en el espacio que permite dicha organización.

La tercera etapa tiene como finalidad afianzar las organizaciones que los estudiantes han construido en torno a la noción de densidad, aquí se desea argumentar que la relación entre las densidades de un cuerpo sumergido y el medio en el que se sumerge es consecuencia de que dicho cuerpo permanezca hundido. Es por tal razón que la actividad consistirá en sumergir diferentes cuerpos en algunos fluidos en donde siempre sea posible sumergirlos, para identificar una regularidad particular (fluido o líquido desplazado) en cada evento de sumergir un cuerpo en un fluido. Esta regularidad permitirá reconocer la relación existente entre el volumen del cuerpo sumergido y el líquido que se desplaza al sumergir este.

Etapa 1: Construyendo la noción de sólido y tridimensionalidad.

1. Los siguientes cuerpos geométricos tienen características que los hacen similares a pesar de sus diferencias. Identifique cuáles son esas características que les permitiría pertenecer a un mismo grupo independiente a su forma o tamaño.

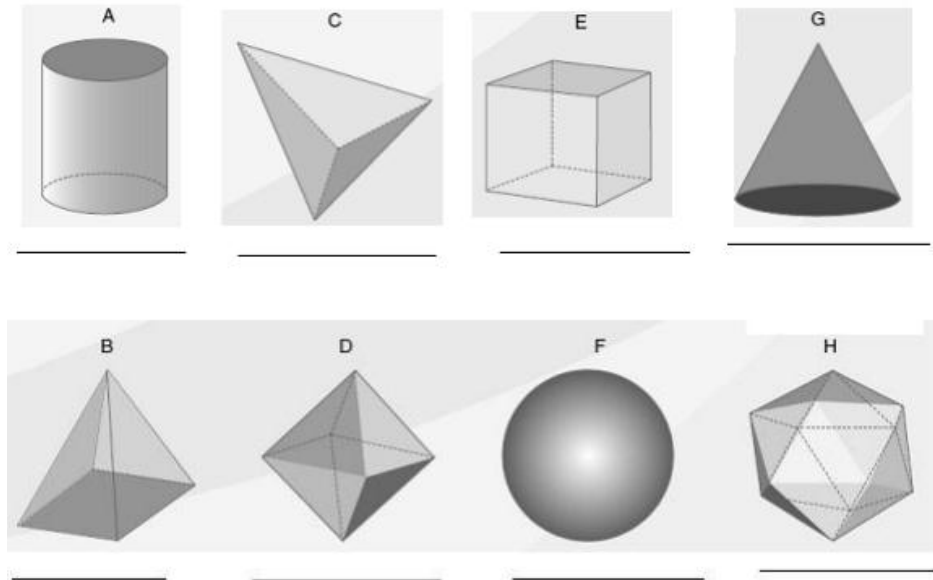


Ilustración 58. Solidos geométricos (Fuente: Tomado de <https://yanellynatalia.blogia.com/>)

Características cuerpo A	
Características cuerpo B	
Características cuerpo C	
Características cuerpo D	
Características cuerpo E	
Características cuerpo F	
Características cuerpo G	
Características cuerpo H	

2. En el siguiente recuadro organice grupos de elementos que tengan características comunes con base en la actividad anterior.

Agrupación de acuerdo a características comunes	
Grupo 1 (Dibujar elementos del grupo)	Grupo 2 (Dibujar elementos del grupo)

Grupo 3 (Dibujar elementos del grupo)	Grupo 4 (Dibujar elementos del grupo)
Grupo 5 (Dibujar elementos del grupo)	Grupo 6 (Dibujar elementos del grupo)

3. ¿Cree que sea posible establecer alguna característica común a las anteriores formas geométricas sin dejar de lado ninguno? Si es así ¿Cuál sería esa, o esas características que incluyen todos los elementos que se están analizando?

4. Elabore un diagrama que permita representar y reconocer las características que han sido identificadas anteriormente como comunes para todos los cuerpos (ponga en evidencia de forma gráfica)

Etapa 2 Elaboración de objetos sólidos con diferentes densidades:

La siguiente actividad tiene como finalidad establecer una relación entre la masa de un cuerpo y el volumen ocupado por él, se analizará la región de espacio que se asocia a cada uno de los cuerpos, las posibles abstracciones y representaciones del objeto; promoviendo discusiones sobre la idea de continuidad o posibilidad de vacío en cada una de las

configuraciones que se puedan establecer. Para tal fin se elaborarán en primera medida contenedores (cubos de cartulina de 5cm de arista) que se llenarán con diferentes elementos y se establecerá la relación entre su masa y su volumen (en este caso constante) además se elaborarán velas cilíndricas artesanales de 10 cm de longitud y dos pulgadas de diámetro, unas barras de yeso cilíndricas de 10 cm de longitud y dos pulgadas de diámetro, y unas barras de arcilla cilíndricas de 10 cm de longitud y dos pulgadas de diámetro.

Para esta actividad se proponen tres momentos particulares. El primero comprende el diseño y elaboración de los cilindros solidos respetando las dimensiones que se proponen inicialmente, el segundo comprende el establecimiento de las posibles variables que se pueden relacionar y la delimitación del peso y el volumen como parámetros que me permitirán hablar de densidad de los distintos cuerpos y el tercero comprende el análisis de la región del espacio que se puede asociar a cada uno de los cuerpos, las posibles abstracciones de los cuerpos y las representaciones que surgen en torno a ese lugar que se deriva de la densidad como un conjunto organizado de relaciones.

Etapa 3 sumergiendo cuerpos en un fluido.

La siguiente actividad tiene como finalidad afianzar las organizaciones que los estudiantes han construido en torno a la noción de densidad, aquí se desea argumentar que la relación entre las densidades de un cuerpo sumergido y el medio en el que se sumerge es consecuencia de que dicho cuerpo permanezca hundido. Es por tal razón que la actividad consistirá en sumergir diferentes cuerpos en algunos fluidos en donde siempre sea posible sumergirlos. Aquí se busca reconocer una regularidad particular (fluido o líquido desplazado) en cada evento de sumergir un cuerpo en un fluido. Esta regularidad permitirá reconocer la relación existente entre el volumen del cuerpo sumergido y el líquido que se desplaza al sumergir este.

Para iniciar la actividad, los estudiantes cuentan con recipientes de diferentes dimensiones (vasos de precipitado de 500ml, 100ml, 80ml, 60ml y 50ml, probetas de 100ml, 150ml y 250ml; tubos de ensayo y un vaso transparente con una capacidad de 1000ml), en algunos caso graduados de fábrica y en otros casos sin ninguna métrica; sin embargo esto no es importante en principio ya que el objetivo inicial es medir la longitud de la columna de agua

(L) contenida en los diferentes recipientes y la variación de dicha longitud (ΔL) al sumergir un cuerpo sobre el líquido.

Para esta actividad se conforman grupos de cuatro personas y se entrega un recipiente al cual le introducirán agua sin algún tipo de condición previa adicional a que el cuerpo se pueda sumergir en ella. Cada grupo cuenta con siete cuerpos diferentes (tres esferas de distintos tamaños, un borrador nuevo con forma de bloque alargado, un borrador usado y una piedra pequeña), de los cuales se determinará la masa empleando una balanza de brazo mecánico y serán sumergidos en el recipiente que contenga el agua.

Los estudiantes deben tomar la medida de cinco diferentes disposiciones que les permitan tener diferentes longitudes (L) en las columnas de agua y sumergir cada objeto una vez en cada disposición tomando registro de la longitud (L) inicial y la longitud (L) final, para que se pueda determinar la variación ΔL producida al interactuar los dos cuerpos (agua y cuerpo sumergido)

Cuerpos sumergidos en agua					
Objeto 1 sumergido	Longitud inicial (L_o)		Longitud final (L_f)		Variación ΔL
	L_{o1}		L_{f1}		
	L_{o2}		L_{f2}		
	L_{o3}		L_{f3}		
	L_{o4}		L_{f4}		
	L_{o5}		L_{f5}		
Cuerpos sumergidos en agua					
Objeto 2 sumergido	Longitud inicial (L_o)		Longitud final (L_f)		Variación ΔL
	L_{o1}		L_{f1}		
	L_{o2}		L_{f2}		
	L_{o3}		L_{f3}		
	L_{o4}		L_{f4}		
	L_{o5}		L_{f5}		
Cuerpos sumergidos en agua					
Objeto 3 sumergido	Longitud inicial (L_o)		Longitud final (L_f)		Variación ΔL
	L_{o1}		L_{f1}		
	L_{o2}		L_{f2}		
	L_{o3}		L_{f3}		
	L_{o4}		L_{f4}		
	L_{o5}		L_{f5}		
Cuerpos sumergidos en agua					

Objeto 4 sumergido	Longitud inicial (L_o)		Longitud final (L_f)		Variación ΔL
	L_{o1}		L_{f1}		
	L_{o2}		L_{f2}		
	L_{o3}		L_{f3}		
	L_{o4}		L_{f4}		
	L_{o5}		L_{f5}		
Cuerpos sumergidos en agua					
Objeto 5 sumergido	Longitud inicial (L_o)		Longitud final (L_f)		Variación ΔL
	L_{o1}		L_{f1}		
	L_{o2}		L_{f2}		
	L_{o3}		L_{f3}		
	L_{o4}		L_{f4}		
	L_{o5}		L_{f5}		

Obtenidos estos, datos los estudiantes se dan en la tarea de determinar al volumen del líquido desplazado apoyándose en la métrica de capacidad preestablecida en algunos de los instrumentos utilizados (Probetas y vasos de precipitado) mediante razonamientos de proporcionalidad. Además la actividad continúa calculando la densidad del fluido empleando un vaso de precipitado para determinar un volumen específico de agua y midiendo la masa de agua empleado una balanza de brazo mecánico; con esto cabe la posibilidad de realizar un proceso de comparación entre la densidad del agua y la densidad de los cuerpos sumergidos, ya que en este punto es posible que la regularidad en la determinación de la variación de la longitud en la columna de agua ΔL sea establecida como el volumen de los cuerpos que se han sumergido.

Seguido de esto se mezcla sal con agua (sin llegar a saturar la mezcla), se determina su densidad de la misma forma como se propone en el párrafo anterior y se realiza el mismo proceso con azúcar. La idea es tener puntos de comparación entre la densidad del agua y de los objetos sumergidos por lo que se hace necesario realizar el mismo proceso de determinación de la variación en la longitud de la columna de agua (ΔL)

Cuerpos sumergidos en sal diluida en agua					
Objeto 1 sumergido	Longitud inicial (L_o)		Longitud final (L_f)		Variación ΔL
	L_{o1}		L_{f1}		
	L_{o2}		L_{f2}		
	L_{o3}		L_{f3}		
	L_{o4}		L_{f4}		

	L ₀₅		L _{f5}		
Cuerpos sumergidos en sal diluida en agua					
Objeto 2 sumergido	Longitud inicial (L ₀)		Longitud final (L _f)		Variación ΔL
	L ₀₁		L _{f1}		
	L ₀₂		L _{f2}		
	L ₀₃		L _{f3}		
	L ₀₄		L _{f4}		
	L ₀₅		L _{f5}		
Cuerpos sumergidos en sal diluida en agua					
Objeto 3 sumergido	Longitud inicial (L ₀)		Longitud final (L _f)		Variación ΔL
	L ₀₁		L _{f1}		
	L ₀₂		L _{f2}		
	L ₀₃		L _{f3}		
	L ₀₄		L _{f4}		
	L ₀₅		L _{f5}		
Cuerpos sumergidos en sal diluida en agua					
Objeto 4 sumergido	Longitud inicial (L ₀)		Longitud final (L _f)		Variación ΔL
	L ₀₁		L _{f1}		
	L ₀₂		L _{f2}		
	L ₀₃		L _{f3}		
	L ₀₄		L _{f4}		
	L ₀₅		L _{f5}		
Cuerpos sumergidos en sal diluida en agua					
Objeto 5 sumergido	Longitud inicial (L ₀)		Longitud final (L _f)		Variación ΔL
	L ₀₁		L _{f1}		
	L ₀₂		L _{f2}		
	L ₀₃		L _{f3}		
	L ₀₄		L _{f4}		
	L ₀₅		L _{f5}		

Cuerpos sumergidos en azúcar diluida en agua					
Objeto 1 sumergido	Longitud inicial (L ₀)		Longitud final (L _f)		Variación ΔL
	L ₀₁		L _{f1}		
	L ₀₂		L _{f2}		
	L ₀₃		L _{f3}		
	L ₀₄		L _{f4}		
	L ₀₅		L _{f5}		
Cuerpos sumergidos en azúcar diluida en agua					
Objeto 2 sumergido	Longitud inicial (L ₀)		Longitud final (L _f)		Variación ΔL
	L ₀₁		L _{f1}		
	L ₀₂		L _{f2}		
	L ₀₃		L _{f3}		
	L ₀₄		L _{f4}		
	L ₀₅		L _{f5}		
Cuerpos sumergidos en azúcar diluida en agua					

Objeto 3 sumergido	Longitud inicial (L_o)		Longitud final (L_f)		Variación ΔL
	L_{o1}		L_{f1}		
	L_{o2}		L_{f2}		
	L_{o3}		L_{f3}		
	L_{o4}		L_{f4}		
	L_{o5}		L_{f5}		
Cuerpos sumergidos en azúcar diluida en agua					
Objeto 4 sumergido	Longitud inicial (L_o)		Longitud final (L_f)		Variación ΔL
	L_{o1}		L_{f1}		
	L_{o2}		L_{f2}		
	L_{o3}		L_{f3}		
	L_{o4}		L_{f4}		
	L_{o5}		L_{f5}		
Cuerpos sumergidos en azúcar diluida en agua					
Objeto 5 sumergido	Longitud inicial (L_o)		Longitud final (L_f)		Variación ΔL
	L_{o1}		L_{f1}		
	L_{o2}		L_{f2}		
	L_{o3}		L_{f3}		
	L_{o4}		L_{f4}		
	L_{o5}		L_{f5}		

Análisis sobre la configuración de los cuerpos

A continuación se presenta una serie de registros que se han obtenido a propósito de las anteriores actividades propuestas para el grado decimo; se organiza mediante tres columnas, en la primera se presenta el testimonio del estudiante, en la segunda columna el concepto más relevante que se puede asociar al testimonio del estudiante y en la tercera columna un análisis de dicho testimonio y su relevancia frente a la premisa propuesta por la tesis, donde el espacio es una noción que influye en la organización, formalización, comprensión y explicación de fenómenos, para este caso particular el fenómeno a analizar es un cuerpo que se sumerge en un fluido.

Análisis sobre la configuración de los cuerpos y la construcción de la noción de densidad.		
Argumento relevante	Concepto asociado	Análisis con relación a las afirmaciones de los estudiantes
Se establecen relaciones entre la noción de solido geométrico, la idea de volumen y los cuerpos	<i>Volumen</i> <i>Cuerpo geométrico</i> <i>Cuerpo real</i>	El estudiante asume la “realidad” como “eso” que percibe a través de sus sentidos (en este caso particular la vista y el tacto). Además el estudiante asocia magnitudes (tamaño o extensión) como parte de la

Análisis sobre la configuración de los cuerpos y la construcción de la noción de densidad.		
Argumento relevante	Concepto asociado	Análisis con relación a las afirmaciones de los estudiantes
reales al configurar y ubicar espacialmente los objetos que se van a analizar. Nociones de espacialidad como la longitud, permiten establecer dichas relaciones entre cuerpos parcialmente regulares e irregulares y abstracciones geométricas		<p>configuración de los cuerpos de análisis en los distintos fenómenos físicos, con relación al mayor o menor espacio ocupado; en este aspecto, la noción de volumen es inherente a todos los cuerpos (reales) de acuerdo a las siguientes afirmaciones.</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>En realidad siempre trabajamos con sólidos, pues hasta las hojas más delgadas tienen largo, ancho y alto, el alto casi no lo pensamos porque uno siempre mide lo largo y lo ancho de la hoja; pero si doblamos la hoja muchas veces se ve que se suman los anchos y cada vez es más grueso.</i> • <i>Cuando uno dice la palabra volumen está hablando de 3D porque siempre se puede medir largo, ancho y alto... Pero no todo son cajas, hasta en la esfera hay largo, ancho y alto, pero como no tiene puntas es muy difícil de ver.</i> • <i>El delta H tiene que ver con el cuerpo que se mete en el agua, para las esferas no se conocía el radio y aun cuando no lo medimos lo hallamos con la medida de la altura del agua, además esta nos da el volumen de las esferas y de todos los otros cuerpos.</i> <p>De tal forma que la configuración de un cuerpo determinado depende del espacio en el que se ubique y por ende ocupe.</p>
Hay claridades frente a la necesidad de reconocer variaciones en los fenómenos a analizar, de tal forma que las relaciones que se establecen entre las variables y lo invariante es la base del análisis y el insumo para llegar a generalizaciones.	<i>Interacción Cambio Cuerpo</i>	<p>El estudiante reconoce una organización espacial inicial y la necesidad de fijar tanto parámetros estables como variables, en este caso la variación en la columna de agua es la que permite establecer relaciones y llegar a generalizaciones como se afirma a continuación.</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>La longitud nos ayudó a determinar la densidad del agua o de los líquidos que usamos con ayuda de la balanza, es posible y así que el mismo H habla de cuerpos diferentes.</i> • <i>La longitud nos ayudó a determinar la capacidad y el volumen en el tubo de ensayo</i> • <i>La longitud me ayuda a saber cómo es el agua y los cuerpos que meto en el agua.</i> • <i>Los vasos de precipitado no son muy buenos porque no se ve casi que cambie la altura delta H en cambio los más delgados si funcionan mejor, pues sube más el agua...</i> • <i>Entre más delgado es más fácil medir lo que va cambiando cuando se meten los cuerpos</i>

Análisis sobre la configuración de los cuerpos y la construcción de la noción de densidad.		
Argumento relevante	Concepto asociado	Análisis con relación a las afirmaciones de los estudiantes
		<ul style="list-style-type: none"> • <i>El tamaño del recipiente influye cuando queremos observar la cantidad de agua que sube</i> • <i>Si no podemos ver la longitud que cambia no podemos hacer el experimento y no llegaríamos a nada de lo que se pide.</i> <p>El estudiante reconoce que de acuerdo a la disposición espacial particular de los cuerpos y la interacción con otros cuerpos surgen explicaciones acorde a la variación, como por ejemplo la relación de los cuerpos vaso-agua resulta relevante para percibir el cambio, siendo este siempre una configuración espacial nueva que da cuenta del proceso de interacción.</p>
Se propone la idea de un espacio continuo en el cual hay una relación sustitución de materia (cuerpos pasan a ocupar el lugar de otros) entre cuerpos, acorde a la idea de hundimiento en la cual el objeto que se sumerge en el líquido desplaza el líquido y ocupa el lugar de una parte de dicho líquido que lo aloja.	<i>Continuidad Cuerpo contenido Cuerpo Contenedor</i>	<p>Las siguientes afirmaciones proponen la noción de espacio continuo, siempre contenido de alguna clase de materia que siempre se va desplazando en función de la interacción entre cuerpos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Cuando hacemos las cajas para llenarlas de cosas, en realidad siempre están llenas, todo el tiempo hay aire en las cajitas, pero uno piensa que no porque no lo ve, de todas formas cuando uno pesa las cajas para iniciar el experimento, no pesa solo la caja sino que tiene aire, después yo creo que el aire se sale cuando uno mete cosas</i> • <i>Cuando metemos cosas diferentes en la cajita queda con vacíos dentro, solo cuando la llenamos con tierra queda bien llena, pero si apretamos más la tierra queda más llena como si tuviera espacios adentro, pero en esos espacios hay aire que se sale en la medida que vamos metiendo cosas más pequeñas</i> <p>El estudiante propone una serie de límites que configuran espacialmente los cuerpos contenidos y los cuerpos contenedores, de tal forma que no se puede establecer la naturaleza de los cuerpos pero si se pueden diferenciar con relación a su ubicación espacial respecto a otros.</p>
Hay una noción de límite espacial que propone la diferencia entre cuerpos, espacialmente cada cuerpo está organizado y en el caso de los sólidos el límite es la división entre cuerpos de distinta	<i>Limite Cuerpo</i>	<p>El estudiante establece la idea de límite en el espacio, como forma de diferenciar cuerpos como se afirma a continuación.</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>A inicio de la actividad estábamos pesando todo, la caja y lo que tenía dentro, por eso yo creo que no estábamos en realidad midiendo la densidad de la tierra, o de las tapas o de los borradores, pues había cartulina afuera, o las hojas delgadas. Yo creo que para mirar bien la densidad toca quitar</i>

Análisis sobre la configuración de los cuerpos y la construcción de la noción de densidad.		
Argumento relevante	Concepto asociado	Análisis con relación a las afirmaciones de los estudiantes
naturaleza de tal forma que el límite los diferencia.		<p><i>la cascara de cartulina y hacer como un molde; por eso las velas si de verdad son las de la densidad, podríamos hacer velas de cubo.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>La cartulina puede ser menos densa o más densa que lo que está dentro</i> <p>De tal modo que un cuerpo termina en el límite que inicia el otro, este límite no es una barrera perceptible, pero si demarca una configuración espacial que cambia completamente entre un cuerpo y otro.</p>
Se proponen formas de representación en función de las explicaciones como formas de discriminar variables de acuerdo al objetivo de análisis	<i>Abstracción Representación del cuerpo</i>	<p>De acuerdo a los argumentos que continúan, los estudiantes identifican una forma de representar los cuerpos en un espacio matemático que les permite abstraer las variables según un criterio particular.</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Cuando hacemos dibujos de lo que hicimos con las cajas estamos imaginando que la caja no existe</i> • <i>Al dibujar es más fácil entender que es la densidad, porque podemos pensar en lo que hay dentro de la caja sin pensar en la caja, la idea de los puntos me parece a mí más clara, y así entiendo mejor los experimentos (en este apartado los estudiantes proponen la idea de un cuerpo lleno de partes pequeñas donde un cuerpo será más denso en la medida que este mas lleno de materia en el mismo espacio)</i> <p>Estas abstracciones fomentan la representación simbólica de situaciones, y facilita el análisis mediante analogías y generalizaciones.</p>
Se establece la densidad como una relación espacial proporcional específica, de tal forma que el volumen delimita la región del espacio que puede ocupar un cuerpo y por ende la cantidad de materia que lo compone. De tal forma que al variar la proporción en la relación, la configuración del cuerpo varía y así es posible distinguir los cuerpos.	<i>Densidad como parámetro de configuración espacial de los cuerpos</i>	<p>La noción de densidad necesariamente es una relación que configura el espacio que contiene la materia de cada cuerpo de acuerdo a las siguientes afirmaciones.</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>El tamaño es engañosos, pero cuando se ponen más cosas que no sea solo el volumen, se entiende que hay cuerpos más llenitos por dentro que otros pero yo creo que igual siempre hay así sea un poquito de aire...</i> • <i>Siempre es importante saber el tamaño de las cosas, para poder hablar de la densidad y también se puede saber de qué material se habla, porque aunque a ninguno nos queda el dato igualito, si hay unos más parecidos y son los que hacemos con el mismo material, pasto o tierra o las canicas pequeñas</i> • <i>Yo pude ver que las cosas son diferentes dependiendo del tamaño que ocupan y como se</i>

Análisis sobre la configuración de los cuerpos y la construcción de la noción de densidad.		
Argumento relevante	Concepto asociado	Análisis con relación a las afirmaciones de los estudiantes
		<p><i>van llenando de cosas, unas cosas son diferentes de otras porque caben más en las cajas y esas son más pesadas por lo general y al final con los cálculos son más densas.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <i>El aire es diferente a las cajas y a las cajas llenas porque debe llenar menos espacio, cuando hicimos el ejercicio de la bomba (masar la boba) casi que pesaba lo mismo con aire cuando la inflamos que sola, pero uno la llena de agua o de arena y pesa mucho más con más poquito, yo creo que la densidad si me dice cual cuerpo es diferente de otro así tengan la misma forma.</i> <p>Los cuerpos se configuran con relación a la densidad y esta es una configuración espacial específica de acuerdo a la materialidad. La diferencia radica en la cantidad de materia que se organiza al interior de un volumen (región del espacio) determinado.</p>

Análisis general de la actividad sobre los cuerpos sumergidos en un fluido.

En el análisis de las actividades propuestas anteriormente, donde se pretende dar cuenta de la forma en que se configuran los distintos cuerpos a partir de la densidad (como una relación espacial específica), se hace pertinente reconocer que en las clases de física resulta difícil por distintos factores trabajar con cuerpos reales, siendo así complicado reconocer las características propias que se pueden asociar a los mismos; esto pese a los intentos que como maestros se hacen por presentar los objetos que interactúan, siendo estos por lo general dibujos en superficies planas, que difícilmente permiten la percepción de un cuerpo sólido y su tridimensionalidad espacial asociada.

Por tal motivo resulta relevante que el estudiante reconozca y además caracterice los cuerpos como elementos tridimensionales, esto responde a una organización espacial definida, donde disposiciones espaciales como la longitud, cobran relevancia para los estudiantes, ya que les permite reconocer y cualificar los cuerpos con los que interactúa de forma permanente. Además, a este respecto se puede agregar que los estudiantes reconocen el tránsito entre la geometría y la realidad, esto resulta significativo en la medida que la geometría se convierte en apoyo y además herramienta fundamental para el análisis del fenómeno que se ha

propuesto; ya que es gracias a este tránsito, que el estudiante finalmente llega a asociar la longitud de la columna de agua con un volumen (que resulta ser una forma geométrica “cilindro”). Esto a posteriori le permite organizar una estructura interna de los cuerpos que interactúan (fluido, cuerpo sumergido) siendo así la densidad no solo un concepto sino una estructura espacial determinada asociada a la masa de cada cuerpo en particular.

Esta estructura particular (volumen) que se asocia a la densidad de los cuerpos con su masa y demarca unos límites que el estudiante atribuye a la presencia de otros cuerpos, siendo así la geometría espacial asociada a cada cuerpo sumergido una forma de limitar cada cuerpo; dando cuenta de esta manera que el cuerpo que se analiza no es solo el que se sumerge, sino que también es un cuerpo estructurado el medio que lo contiene, con la posibilidad de ser cualificado y caracterizado según su disposición espacial interna.

En estos términos es significativo que el estudiante reconozca las dificultades que se presentan al intentar determinar la densidad de un cuerpo contenido en otro con afirmaciones como “...*al inicio de la actividad estábamos pesando todo, la caja y lo que tenía dentro, por eso yo creo que no estábamos en realidad midiendo la densidad de la tierra, o de las tapas o de los borradores, pues había cartulina afuera, o las hojas delgadas*” ya que de forma implícita está atribuyendo características particulares que diferencian la caja contenedora de los diferentes materiales, con los materiales contenidos de acuerdo a su disposición espacial, donde razonamientos como la sobre posición de hojas es asociada a una disposición espacial como lo es la altura y que concreta la idea de solidez de los cuerpos en los estudiantes.

Por lo tanto es importante dar cuenta de la forma como el estudiante en afirmaciones como “... *Cuando hacemos dibujos de lo que hicimos con las cajas estamos imaginando que la caja no existe*” transita entre la realidad y la abstracción, distinguiendo cuerpo de contenedor, proponiendo la necesidad de un análisis de forma individual; ya que de lo contrario se presentarían problemas por alteraciones en las tomas de datos, por lo que las abstracciones posibilitan la realización de las actividades dejando de lado la masa de los moldes o contenedores para analizar cuerpos con composiciones específicas, pero haciendo uso de las formas geométricas para el establecimiento del volumen como un parámetro de organización de la experiencia. Esto hace posible afirmar que para los estudiantes todos los cuerpos tienen una correspondencia con organizaciones espaciales (en tres dimensiones), siendo las figuras

geométricas una idealización de la realidad, que permite fijar límites que distinguen unos cuerpos de otros.

Es así que cuando el estudiante organiza la experiencia e inicia en el camino de argumentar su experiencia, da cuenta de un espacio siempre contenido, donde hay una sustitución de cuerpos en el análisis de un sólido que se hunde en un fluido particular, de tal modo que el lugar que es ocupado inicialmente por el fluido (aire o agua) es sustituido por el cuerpo que se introduce en el contenedor de tal fluido y en correspondencia, el volumen del fluido desplazado hace referencia al volumen del cuerpo que se ha sumergido. Esta idea de continuidad espacial resulta ser relevante en las interpretaciones del estudiante, ya que les permite configurar relaciones espaciales posteriores.

Por otra parte esta configuración espacial continua, es la que permite al estudiante argumentar la estructura interna particular de todos los cuerpos, siendo esta particular dependiente de la composición de cada cuerpo y por ende de la cantidad de materia que pueda ser contenida en una región determinada del espacio; de tal modo que la noción de densidad que el estudiante ha organizado, es una configuración espacial determinada que permite establecer diferencias de composición y caracterización a propósito de dicha organización.

Por lo tanto el tamaño es una disposición espacial que permite reconocer las características de un cuerpo, como por ejemplo su material y así diferenciarlos de otros cuerpos, en la medida que surge la relación de asociar esta disposición espacial con la masa del cuerpo; de tal forma que la densidad de un cuerpo corresponde a organizaciones espaciales internas particulares, que asocian de forma inherente la noción espacial del volumen y la masa de los cuerpos (con mayor o menor cantidad de masa) como característica propia.

Por lo anterior es posible reconocer que cuando el estudiante organiza la noción de densidad, en principio necesariamente debe acudir a la organización de configuraciones espaciales como longitud y volumen, siendo estas construcciones conceptuales propias, donde la tridimensionalidad (tanto de los cuerpos contenedores como contenidos) no necesariamente corresponde a cajas o cubos, que se pueden asociar aun a cuerpos irregulares; donde nociones espaciales de longitud como largo, ancho y alto, son base para la organización de la noción de densidad. Sin embargo, los estudiantes en este punto no asocian únicamente la diferencia

entre cuerpos al tamaño, sino que reconocen que la diferencia radica en una relación (materia-volumen) de proporción.

En general el análisis completo asocia una organización espacial como base de la comprensión del fenómeno (cuerpo que se hunde en un líquido) que asocia la interacción entre dos cuerpos uno sólido y uno líquido, donde una disposición espacial como la longitud ΔL , permite determinar la acción necesaria para movilizar el volumen de agua que corresponde a dicha longitud ΔL .

Estas ideas son relevantes en la medida que los estudiantes han establecido una relación inherente entre la geometría del cuerpo y su masa para el establecimiento de características de composición. En esta medida la longitud como una relación espacial resulta ser base fundamental para el análisis del fenómeno y la construcción de explicaciones que giran en torno a él, no siendo este el único elemento, ya que la comprensión del fenómeno necesariamente ha requerido del establecimiento de relaciones donde la longitud es un parámetro pero si se dejara de lado la masa no habría posibilidad de comprender el por qué los cuerpos se hunden, siendo la explicación una relación de proporción entre el volumen y la masa de los cuerpos, que ha construido el estudiante implícitamente en la medida que va organizando su experiencia. Así cuando se afirma que “...la longitud me ayuda a saber cómo es el agua y los cuerpos que meto en el agua” El estudiante argumenta la organización espacial específica interna de ambos cuerpos con relación a la medida de la masa de cada uno de ellos.

De tal forma que esta relación espacial es base para el análisis y la comprensión de la interacción entre cuerpos de distinta naturaleza y composición. Aun cuando en un principio no parece que la longitud asociada ΔH tenga mayor importancia para responder al cuestionamiento ¿Por qué los cuerpos se hunden dentro de un líquido? es posible establecer múltiples relaciones con los diferentes cuerpos que intervienen, hasta el punto de llegar a responder tal cuestionamiento, esto es posible cuando se reconoce la geometría de los recipientes que contienen el líquido y la interacción del líquido con los cuerpos que se sumergen en él.

Aquí surgen algunos aspectos relevantes, en primera medida cuando se propone a los estudiantes dar cuenta del por qué se hunden cuerpos en un fluido, se parte de nociones que no resultan ser evidentes como lo es el volumen y la densidad, pues su medición no es perceptible de forma inmediata y tampoco es perceptible al tacto o la vista; ya que como se ha presupuestado estas nociones se establecen a partir de relaciones o disposiciones espaciales determinadas en medio de un proceso de organización de la experiencia que se propone.

Así cuando el estudiante argumenta la influencia de los recipientes y su geometría para la determinación de un cambio como único elemento inicial que le permita dar cuenta de la interacción, propone de forma implícita una organización espacial determinada como base fundamental del análisis, de tal modo que relaciones espaciales como la longitud son significativas en la medida que el estudiante propone nuevas organizaciones en busca de un modelo de organización que le permita indagar y argumentar resultados, que sin tales disposiciones no serían posibles; ya que el cambio en este proceso resulta ser el único elemento que se ha dispuesto para iniciar el análisis y sin tal cambio, como lo argumentan los estudiantes “*Si no podemos ver la longitud que cambia no podemos hacer el experimento y no llegaríamos a nada de lo que se pide*” no se podría realizar tal análisis, por lo tanto la propuesta de los estudiantes promueve en principio un diseño de organización de la experiencia que establece parámetros necesarios para realizar un análisis.

En consecuencia dependiendo de las organizaciones espaciales que se establezcan, será posible evidenciar con mayor claridad el cambio (ΔH), objetivo inicial de la experiencia, teniendo completa pertinencia la propuesta de los estudiantes para emplear vasos cada vez más delgados, a fin de que el cambio sea mayor (en términos de longitud), aun cuando en principio este cambio se asocia al volumen de líquido desplazado, con una relación de proporcionalidad directa; ya que para los estudiantes a mayor longitud mayor cantidad de líquido en principio, pero que finalmente permite reconocer la igualdad para todos los casos en los que se ha desplazado un líquido por sumergir un cuerpo (si analizamos el mismo cuerpo) independiente a la longitud de la columna de agua, siendo la capacidad del contenedor relevante, no como parámetro de cantidad sino como parámetro que permite evidenciar el cambio.

Finalmente, los estudiantes relacionan la variación de la columna de agua con las características propias de los cuerpos que se han sumergido mediante la idealización de situaciones. Es así, que para los casos particulares de las esferas con diferentes tamaños, los estudiantes asumen una igualdad entre el valor teórico y el valor experimental del volumen de la esfera y se apoyan en esta relación para determinar el radio de cada una de las esferas que se han sumergido en el fluido. Para el cálculo dicho radio se asocia el cambio como parámetro indispensable de análisis, puesto que de forma implícita los datos obtenidos (desplazamiento de agua ΔL) relacionan la geometría del espacio ocupado por cada esfera; ya que la determinación del radio no ha sido de forma directa, pues no se ha empleado un instrumento de medida de longitudes sino que se ha obtenido a partir de relaciones matemáticas preestablecidas como lo es el volumen de la esfera y el volumen de un cilindro de agua (ΔH)

Una breve descripción conceptual de los fenómenos magnéticos a analizar.

En este apartado se desarrollan algunos aspectos conceptuales fundamentales para la comprensión de los fenómenos magnéticos y electromagnéticos; que sustentan los análisis realizados en torno a la fenomenología de lo magnético y además las propuestas experienciales que se desarrollaron en el aula. Aquí se centrará el interés las nociones de cuerpos magnéticos (permanentes y temporales), propiedades magnéticas, campo magnético y campos magnéticos generados por corrientes que circulan por un conductor.

El imán como un cuerpo magnético.

Desde la antigüedad se conoce la existencia de cuerpos con propiedades de atracción y repulsión en interacción con otros y a estos los llamaremos “cuerpos magnéticos” comúnmente conocidos como imanes; estos se clasifican en dos tipos, aquellos que por sus características de materialidad generan un campo magnético perceptible por interacción que llamaremos “naturales” y los imanes inducidos, sin embargo iniciaremos con la concepción de imán natural, ya que las acciones producidas por ambos son idénticas pero la naturaleza de los que genera sus acciones (campo magnético) tienen orígenes distintos; pues para el caso de los inducidos el campo generado es debido a la circulación de una corriente y es temporal, en tanto que los naturales poseen un campo propio y permanente.

En los imanes podemos encontrar regiones espaciales con configuraciones particulares, estas son denominadas polos magnéticos. En un imán, los polos son las zonas donde se manifiestan las fuerzas más intensas y donde se acumulan alambres, limaduras y objetos pequeños de hierro que hayan resultado atraídos. Que haya sólo dos, se comprueba fácilmente pues si el imán se cuelga de un hilo, se orienta con una de esas zonas hacia el norte y la otra hacia el sur; es de esta forma que se nombran sus polos.

Sin embargo después de muchos tiempo se notó que, como en los fenómenos asociados a la electrostática y la interacción entre cargas, los polos del mismo nombre (sur – sur o norte - norte) se rechazan, mientras que los opuestos (sur – norte o norte - sur) se atraen. Por lo que fue necesario estipular un polo magnético y uno geográfico que correspondan a las propiedades de atracción y repulsión.

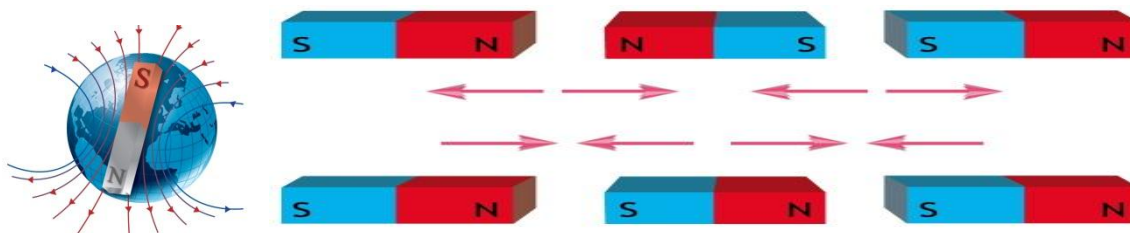


Ilustración 59. Interacción polos magnéticos (Fuente: tomada de <http://physicalbetweenus.blogspot.com/2016/10/iman.es.html>)

Dentro de los cuerpos magnéticos existe otra categoría relevante para el presente trabajo, pues no solo se tratará de materiales que se atraen y se repelen como en el caso de los imanes, sino que además es necesario mencionar esos cuerpos que son atraídos por los imanes pero que no son repelidos denominados cuerpos ferromagnéticos, de los cuales haremos un uso intencionado para dar claridades sobre lo que se denomina y representa como “campo magnético”, es así que se llaman ferromagnéticos los materiales cuyo comportamiento es semejante al del hierro. Esos materiales se atraen con los imanes, y separados de estos, mantienen algún grado de magnetismo, o sea, que se pueden convertir en imanes temporales; dentro de estos materiales encontramos el hierro, el cobalto, el níquel, el gadolinio, el disprosio, y muchas aleaciones en las que forman parte esos metales.

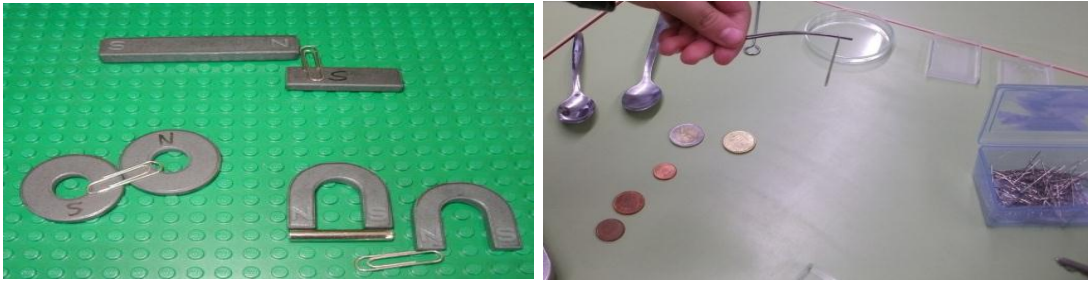


Ilustración 60. Actividad clasificación de cuerpos a partir de procesos de interacción (Fuente Elaboración propia)

A partir de lo anterior surgen interrogantes sobre lo que sucede alrededor del imán para que sea posible evidenciar los fenómenos que se han mencionado; y cómo se organiza el espacio que rodea el imán. Pues ya sabemos que todos los imanes ya sean temporales o permanentes ejercen fuerzas sobre otros imanes que se encuentran a cierta distancia; tales interacciones son posibles de explicar a partir de los campos magnéticos que existen alrededor de los imanes. La presencia de un campo magnético (invisible) alrededor de un imán se puede evidenciar cubriendo un imán con una hoja de papel y espolvoreando limadura de hierro sobre ella, ya que la limadura de hierro es un cuerpo ferromagnético y será perturbada por el campo magnético del imán; generando una serie de organizaciones espaciales en forma de líneas, que son más intensas en los polos de los imanes y cada vez más tenues en la medida que se ubican las limaduras en un lugar lejano con respecto al imán.

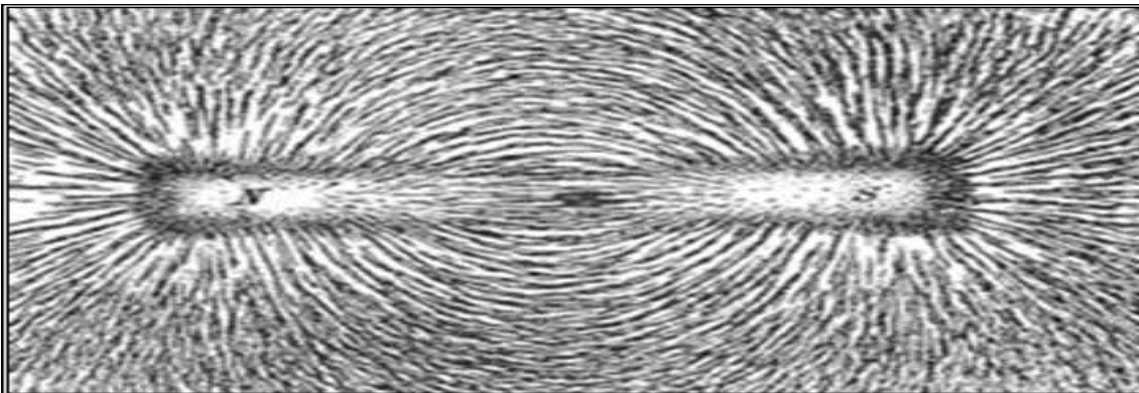


Ilustración 61. Espectro magnético imán de barra (Fuente: tomado de <http://fisicayquimica-norberto.blogspot.com/2012/05/magnetismo.html>)

Las limaduras de hierro se convierten en imanes por inducción, estas se alinean de forma automática y forman unas líneas que van de un polo a otro.

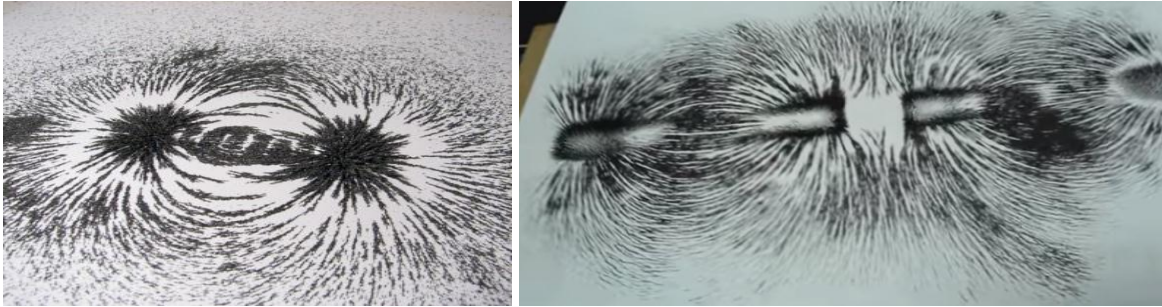


Ilustración 62. Líneas de campo magnético generadas al interactuar los polos puestos de dos imanes (Fuente: Elaboración propia)

A pesar de que las líneas de campo son representaciones y por lo tanto imaginarias nos ayudan a pensar en lo que sucede al poner en interacción dos imanes mediante un procedimiento similar al expuesto anteriormente. Aquí se cubren dos imanes con una hoja de papel y se espolvorea limadura de hierro, dependiendo de la configuración de los polos de cada imán, el espacio circunvecino tendrá una organización determinada.

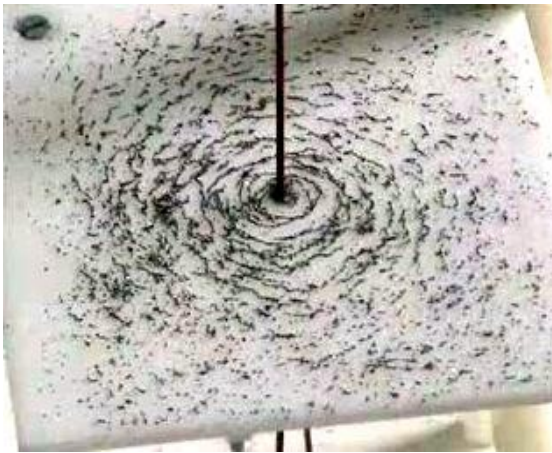
Fenómenos electromagnéticos.

Por siglos parecía ser que los fenómenos eléctricos y magnéticos fueran aislados e inconexos; pero en el año 1820, el físico Hans Christian Oersted realizó un descubrimiento importante acerca del magnetismo al experimentar con corrientes eléctricas en los alambres, Oersted colocó uno de los alambres sobre una brújula pequeña y observó que cada vez que hacía circular una corriente por el alambre la aguja de la brújula se movía. Oersted sabía que un campo magnético podía ejercer una fuerza sobre un imán; por lo tanto la corriente que circulaba por el alambre, de alguna forma hacía que se generara un campo magnético alrededor del alambre y por ende era necesario verificar la forma en que el espacio que rodeaba el alambre se organizaba; en otras palabras, era necesario buscar una forma de evidenciar el campo magnético generado por la corriente que circula por un alambre conductor.

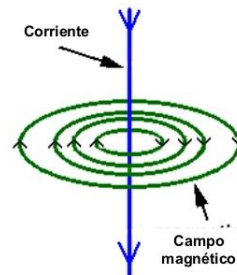
Posteriores experimentos realizados por Oersted le permitieron demostrar que cualquier alambre por el cual pasa una corriente eléctrica, tiene un campo magnético a su alrededor, es decir, las corrientes eléctricas producen campos magnéticos.

Hay formas de estudiar este campo que se genera alrededor del alambre, una particular es atravesar un cartón con un alambre de cobre y espolvorear limadura de hierro sobre el cartón,

aquí una vez más es posible evidenciar una organización espacial (patrón del campo magnético) determinada que consiste en círculos concéntricos alrededor del alambre.



Alambre recto



El campo magnético se compone de círculos concéntricos centrados en el alambre.

El campo magnético es más fuerte cerca del alambre.

Esto se muestra por que las líneas de campo están más próximas entre sí cerca del alambre.

La fuerza del campo se incrementa en proporción a la corriente.

Ilustración 63. Líneas de campo magnético a rededor de un alambre que conduce una corriente eléctrica (Fuente: Tomado de <https://es.slideshare.net/sruizde/electromagnetismo-34710103>)

El sentido de las líneas de campo magnético o inducción B generada al circular corriente a través de un conductor rectilíneo puede determinarse aplicando la regla de la mano derecha que aparece representada en la figura que se detalla a continuación.

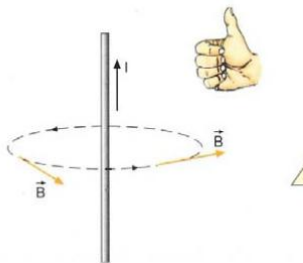


Ilustración 64. Regla de la mano derecha dirección del campo magnético alrededor de un alambre conductor delgado (Fuente: Tomado de https://www.researchgate.net/figure/Figura-412-Regla-de-la-mano-derecha_fig44_331839421)

Otro método sería el conocido como regla del tornillo o del sacacorchos que consiste en pensar hacia dónde se desplazaría éste al hacerlo girar de modo que avanzase en el sentido de la corriente.

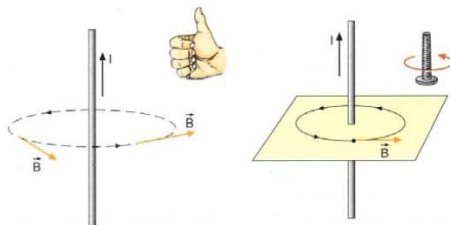


Ilustración 65. Regla de la mano derecha dirección del campo magnético alrededor de un alambre conductor delgado (Fuente: Tomado de https://www.researchgate.net/figure/Figura-412-Regla-de-la-mano-derecha_fig44_331839421)

En la figura anterior se muestra cómo se coloca la mano derecha con el pulgar extendido y dirigido hacia en sentido en que circula la corriente, marcando así los restantes dedos el sentido de las líneas de campo magnético.

De forma análoga a la interacción entre campos magnéticos de dos imanes o más, pues es posible que se pongan en interacción dos campos magnéticos inducidos generados por corrientes eléctricas circulando por conductores rectilíneos si en lugar de tener un conductor, se dispone de dos conductores rectilíneos paralelos con corrientes que circulan en el mismo sentido, los campos generados son dos vectores que van en la misma dirección y sentidos opuestos, por lo cual, para componerlos habrá que restarlos; mientras que si las corrientes circulan es sentidos opuestos habrá que sumarlos.

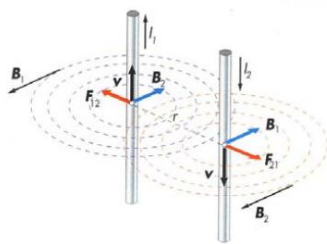


Ilustración 66. Interacción de campos magnéticos generados alrededor de dos alambres conductores delgados (Fuente: Tomado de https://www.researchgate.net/figure/Figura-412-Regla-de-la-mano-derecha_fig44_331839421)

Finalmente en esta pequeña síntesis conceptual de los fenómenos magnéticos y electromagnéticos, resulta relevante dar cuenta de un fenómeno que está inmerso en el análisis de artefactos eléctricos como motores y generadores, pues estos funcionan con base a la inducción electromagnética o campos magnéticos generados por corrientes que circulan sobre espiras (embobinados).

Cuando la corriente pasa por un alambre que forma una espira, se produce un campo magnético. Si se aplica la regla de la mano derecha en cualquier parte del alambre, se puede observar que la dirección del campo magnético dentro de la espira es siempre la misma.

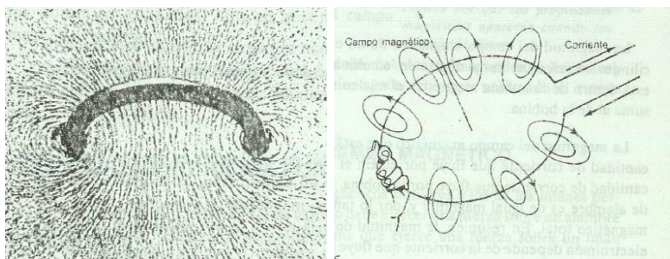


Ilustración 67. Espectro magnético alrededor de una espira uniforme (Fuente: tomado de http://www.fisica.ru/2017/dfmg/teacher/archivos/capitulo_fisica_1_-_2.pdf)

En el ejemplo mostrado en el diagrama la dirección es hacia fuera de la página en la parte interior de la espira, y en el exterior la dirección del campo magnético siempre adentro de la página.

Ahora si se dobla el alambre como varias espiras de igual tamaño formando una bobina; cuando la corriente circule por esta, el campo magnético alrededor de las espiras tendrá la misma dirección. Dentro de la bobina habrá un campo magnético continuo que apunta en una sola dirección y el campo que está en el exterior de la bobina tendrá dirección opuesta.

Es así que cuando la corriente fluye por una bobina, esta se comporta como un imán permanente; de tal modo que al acercarse la bobina a un imán permanente, uno de sus extremos será repelido por el polo norte del imán y otro será atraído, por lo que se puede concluir que la bobina tiene un polo norte y un polo sur como cualquier tipo de imán permanente, este tipo de configuración se conoce como electroimán.

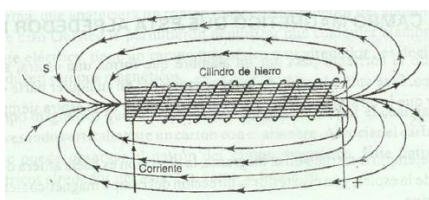


Ilustración 68. Diagrama que representa una idea del campo magnético generado por una espira (Fuente: tomado de http://www.fisica.ru/2017/dfmg/teacher/archivos/capitulo_fisica_1_-_2.pdf)

La magnitud del campo magnético de un electroimán se puede intensificar colocando una barra de hierro (núcleo) dentro de la bobina; esto se debe a que el campo magnético que está dentro de la bobina, magnetiza el núcleo mediante inducción y su campo magnético se suma a la bobina. En este caso también, la magnitud del campo magnético que está alrededor del alambre, es proporcional a la cantidad de corriente que fluye por él, para el caso del electroimán será proporcional a la corriente que fluye por la bobina.

Además el campo magnético producido por cada espira de alambre es igual en magnitud y contribuye en la misma medida al campo magnético total. Por lo anterior es posible afirmar que la magnitud del campo magnético de un electroimán depende tanto de la cantidad de corriente que circule por la bobina, como de la cantidad de espiras que tenga dicha bobina (número de vueltas) como del material que esté hecho el núcleo.

Los anteriores aspectos conceptuales son base fundamental para la propuesta y desarrollo de actividades en el aula, ya que será necesario promover experiencias que permitan a los estudiantes reconocer la forma en que se configura el espacio que rodea los cuerpos

magnéticos en busca de una organización fenomenológica de lo magnético como una organización espacial en la que las formas de referenciar el espacio como posición y distancia resultan relevantes en el análisis de las situaciones que se pueden presentar a propósito de lo magnético.

Registro actividades en aula para el caso de lo magnético

A continuación se presentan algunos registros de actividades realizadas con los estudiantes de grado once, en la clase de física, asumiendo la firme idea de que el estudiante construye explicaciones en la medida que su experiencia es ampliada de forma intencionada por medio de prácticas experimentales (Malagón Sánchez, Francisco ; Sandoval Osorio, Sandra ; Ayala Manrique, María Mercedes ;, 2012). Y es a partir de estas experiencias que el estudiante logra definir un espacio “real” como su entorno inmediato que se construye gracias a sus sentidos; pero además reconoce un espacio matemático que le permite realizar abstracciones de la realidad, en el cual los elementos que analiza tienen las características que considera pertinentes para el análisis.

Además de presentar el registro de las actividades, se presenta una breve descripción de la actividad propuesta y de la intensión particular de dicha actividad, a fin de tener un punto determinado de análisis para las explicaciones y argumentos que proponen los estudiantes en el salón de clase.

Grupo 1: tridimensionalidad del campo magnético

A este grupo de estudiantes se les propone como objetivo dar cuenta de la tridimensionalidad del campo magnético mediante el análisis de 6 experiencias, estas parten de la intensión que el estudiante reconozca la forma en que se configura el espacio circundante de los cuerpos magnéticos y la forma en que pueden interactuar algunos cuerpos con dichas configuraciones.

Clasificación de materiales

Se parte de analizar acciones de cuerpos magnéticos sobre otros cuerpos de distintos materiales y clasificar aquellos que son perturbados de alguna forma por estos cuerpos

magnéticos; seguido de esto se establecen dos clasificaciones, los cuerpos que son atraídos o los que son atraídos y repelidos por los cuerpos magnéticos (imanes).



Ilustración 69. Cuerpos ferromagnéticos atraídos por un imán (Fuente: Elaboración propia)

Continuando una de las cualidades predominantes para ser atraído es “lo metálico” y “lo magnético”; puesto que el objetivo de estudio es analizar las variaciones o perturbaciones, se hace necesario analizar la cualidad de “lo metálico” en el fenómeno de atracción, por lo tanto se propone realizar la experiencia con distintos metales y analizar los cambios que se perciben.

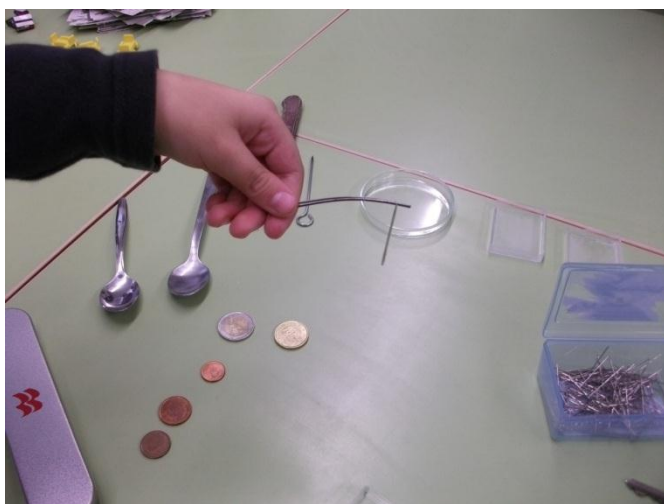
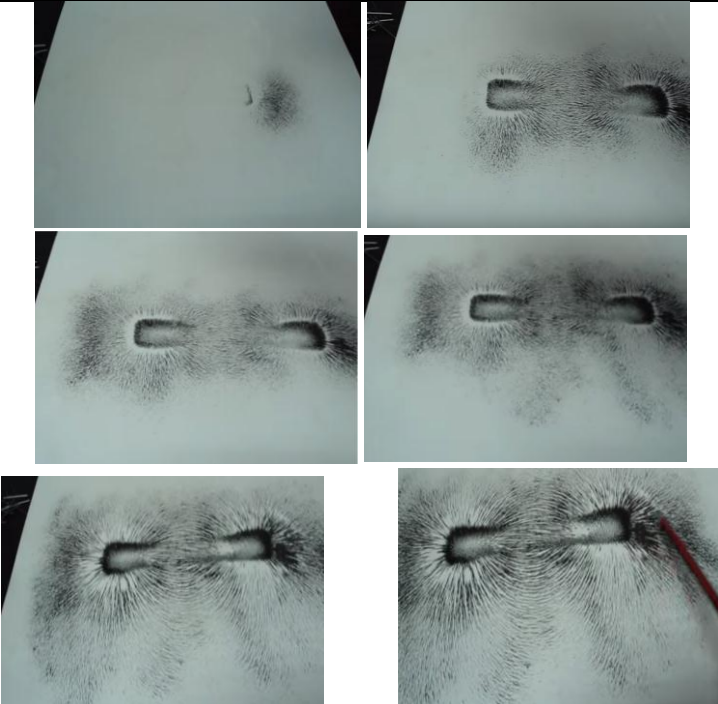
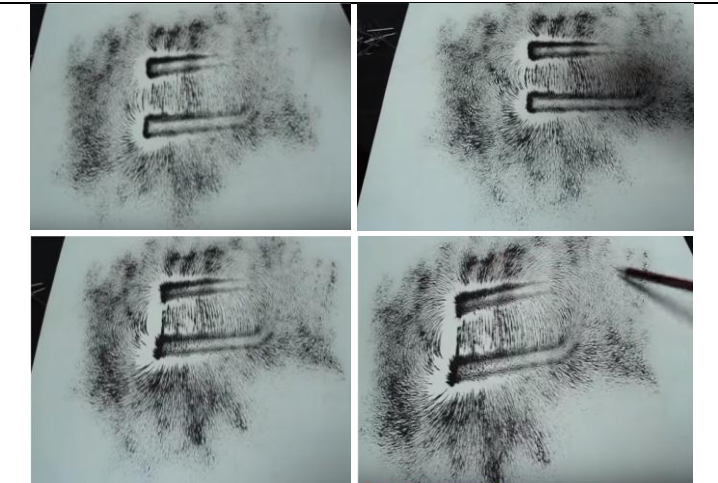


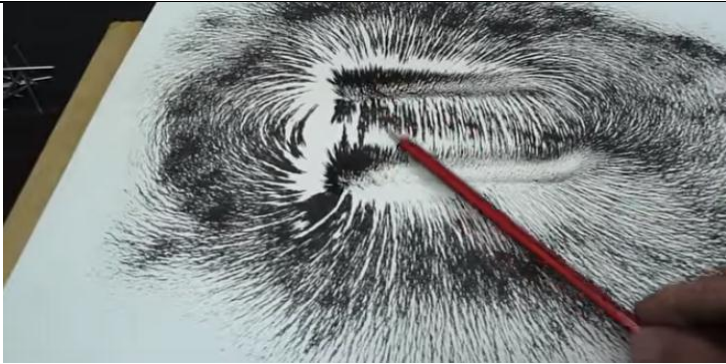
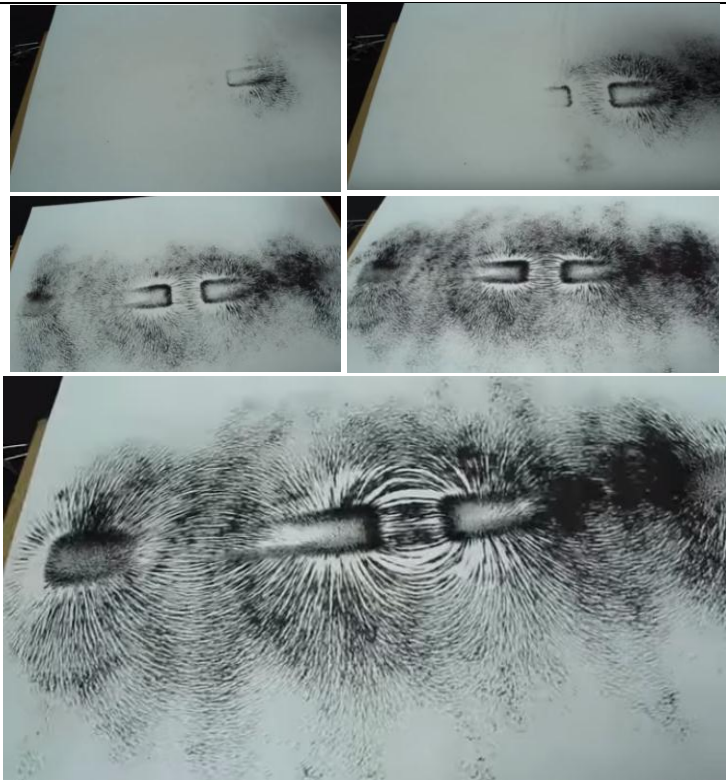
Ilustración 70. Propuesta de clasificación de material según formas de interacción (Fuente: Elaboración propia)

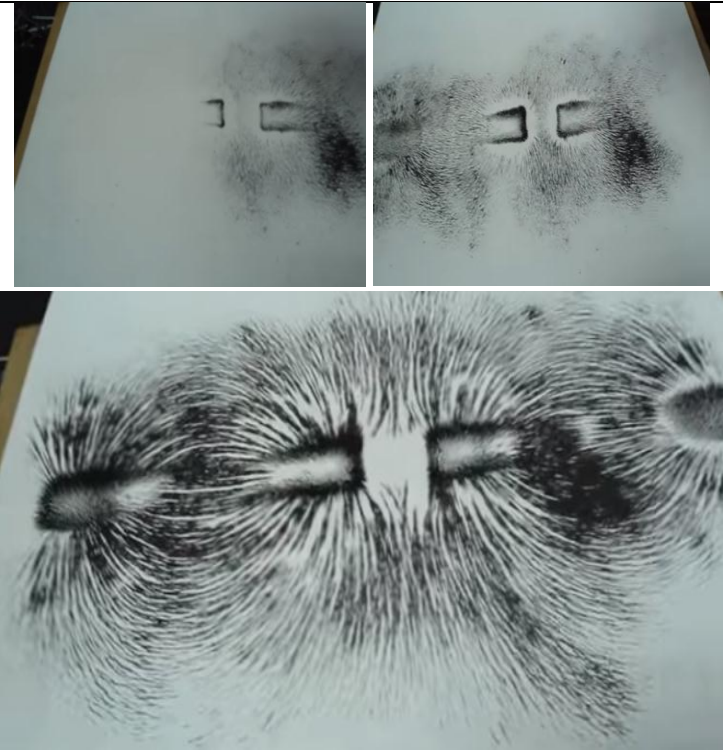
Aquí se evidencia que no todos los metales son atraídos por los imanes y además que el efecto (cuando se presenta) de lo metálico en presencia de un imán únicamente es de carácter atractivo.

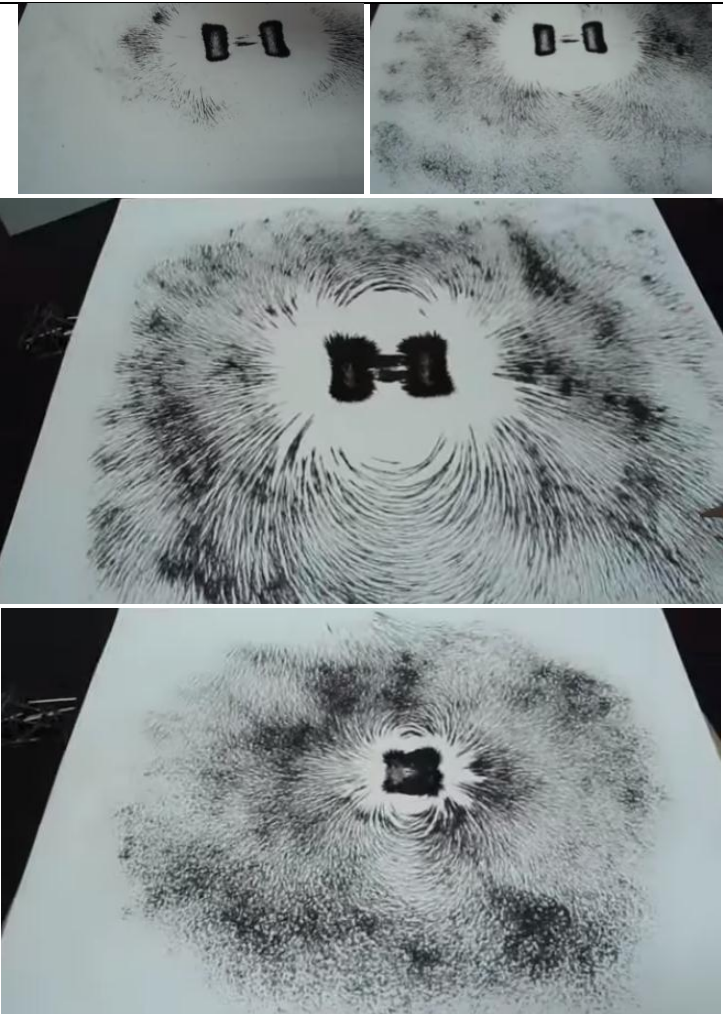
Por otra parte en este punto solo parece ser que el efecto o acción de los imanes sobre algunos cuerpos metálicos es en una región del espacio muy cerca del imán, por lo que se propone


una experiencia más, a fin de evidenciar hasta que distancia es posible percibir el efecto de los imanes. Para esto es necesario emplear cuerpos metálicos muy pequeños (limadura de hierro) que puedan ser atraídos por el imán.

Actividad	Algunas aclaraciones
Experiencia 1	Espectro magnético “imán de barra”
 <p data-bbox="240 1157 954 1220">Ilustración 71. Espectro magnético generado por un imán de barra en interacción con limadura de hierro (Fuente: Elaboración propia)</p>	<p data-bbox="987 451 1369 1150">Se han realizado actividades en las que algunos cuerpos metálicos son atraídos por imanes, por lo que surge el interrogante ¿de qué forma se configura el espacio que rodea dicho imán para que cuerpos (ferromagnéticos) sean atraídos? además esta acción con los cuerpos que se han empleado hasta el momento solo es perceptible al juntar cuerpo ferromagnético - imán, o a muy cortas distancias (entre 0cm y 2cm). Dicho esto se propone la experiencia de analizar el espectro magnético del imán de barra y otras configuraciones para examinar la intensidad del campo magnético generado por el imán en función de una noción espacial como lo es la distancia.</p>
Experiencia 2	Espectro magnético “imán de herradura”
 <p data-bbox="240 1776 954 1864">Ilustración 72. Espectro magnético generado por un imán de herradura en interacción con limadura de hierro (Fuente: Elaboración propia)</p>	<p data-bbox="987 1291 1369 1770">Se han realizado actividades en las que algunos cuerpos metálicos son atraídos por imanes por lo que surge el interrogante ¿de qué forma se configura el espacio que rodea dicho imán para que cuerpos (ferromagnéticos) sean atraídos? además esta acción con los cuerpos que se han empleado hasta el momento solo es perceptible al juntar cuerpo ferromagnético - imán, o a muy cortas distancias (entre 0cm y 2cm). Dicho esto se propone la experiencia de analizar el espectro magnético del imán de herradura y otras configuraciones para examinar la intensidad del campo magnético</p>

Actividad	Algunas aclaraciones
	<p>generado por el imán en función de una noción espacial como lo es la distancia.</p>
<p>Experiencia 3</p>	<p>Acción entre imanes enfrentando polos opuestos (atracción)</p>
 <p>Ilustración 73. Espectro magnético generado por los polos puestos de dos imanes de barra en interacción con limadura de hierro (Fuente: Elaboración propia)</p>	<p>En esta experiencia se propone identificar la forma en que se configura el espacio alrededor de dos cuerpos magnéticos ubicados de tal forma que se corresponda a lo que hemos denominado polos opuestos y se evidencie un efecto de atracción entre dichos cuerpos. Puesto que se ha afirmado que las acciones de los imanes no se perciben a distancias mayores a 2 cm, ubicamos los imanes a mayores distancias y será la limadura de hierro la que permita diagramar las acciones entre imanes; aquí es pertinente observar y medir los rangos de acción de los imanes y resulta indispensable identificar las líneas de fuerza y su alcance a fin de reconocer que el campo magnético perturba el espacio circundante no solo en regiones muy cercanas y que en regiones del espacio alejadas la acción disminuye y las líneas de fuerza son cada vez más tenues hasta desaparecer.</p>
<p>Experiencia 4</p>	<p>Acción entre imanes enfrentando polos iguales (repulsión)</p>

Actividad	Algunas aclaraciones
 <p data-bbox="240 976 959 1066">Ilustración 74. Espectro magnético generado por polos iguales de dos imanes de barra en interacción con limadura de hierro (Fuente: Elaboración propia)</p>	<p data-bbox="984 222 1386 1066">De forma similar a la experiencia 3, los imanes se disponen de tal manera que estén a una distancia en la cual las acciones sobre los cuerpos magnéticos no sean fáciles de percibir y los cambios no sean evidentes ni a la vista ni al tacto. Las acciones que se evidencian permiten reconocer igualmente efectos alejados de los cuerpos magnéticos y la geometría que se logra describir demarca una configuración espacial particular organizada como producto de la interacción entre dos cuerpos que enfrentan polos iguales. Aquí una vez más la distancia es relevante ya que es la que permite reconocer aquellos lugares en el espacio en los que la interacción es más fuerte o débil; por lo que la acción de lo que se ha reconocido como campo magnético es dependiente de la distancia a la cual se encuentre el cuerpo o los cuerpos que interactúan.</p>
<p data-bbox="521 1066 675 1098">Experiencia 5</p>	<p data-bbox="984 1066 1386 1171">Una configuración adicional (intensidad de campo dependiendo el tamaño del imán)</p>
	<p data-bbox="984 1171 1386 1591">En esta experiencia se pretende relacionar la intensidad de campo con el tamaño del imán, siempre y cuando la comparación sea entre imanes de la misma naturaleza, para este caso son dos imanes naturales en forma de herradura y se examina la formación de líneas de campos producidas por sus extremos (puntas) teniendo presente que es un caso particular de interacción entre polos opuestos de un imán.</p> <p data-bbox="984 1598 1386 1873">Se desea que el estudiante deduzca que a mayor tamaño de imán la intensidad del campo magnético aumenta y por lo tanto esto se evidenciará con la formación de líneas de campo más intensas y mejor marcadas, además el alcance de estas formaciones es más alejada del imán,</p>

Actividad	Algunas aclaraciones
 <p data-bbox="240 1234 959 1329">Ilustración 75. Espectro magnético generado por bornes de imanes de herradura de distintos tamaños en interacción con limadura de hierro (Fuente: Elaboración propia)</p>	<p data-bbox="976 222 1390 363">por lo que es posible que perturbe cuerpos a mayor distancia o en su defecto pueda levantar objetos más pesados si este fuera el fin.</p>
Experiencia 6	Atrayendo agujas en todas las direcciones

Actividad	Algunas aclaraciones
 <p data-bbox="285 1171 911 1234">Ilustración 76. Experiencia de agujas suspendidas (Fuente: Elaboración propia)</p>	<p data-bbox="987 226 1386 1516">Pensar en un cuerpo tridimensional parece ser evidente, aunque en la escuela no lo es; ahora pensar en una acción tridimensional resulta más complicado aún. Es por esto que la ampliación de la experiencia en esta práctica es fundamental, los textos presentan imágenes planas, pero los estudiantes aquí pueden organizar su experiencia y dar cuenta de la tridimensionalidad del campo magnético visualizando cambios y percibiendo las acciones de los imanes sobre otros cuerpos en todas las direcciones, aquí, la idea de dimensión es relevante y se reconoce una organización espacial de los fenómenos magnéticos. Ya se cuenta por una parte con el reconocimiento de las líneas de fuerza demarcadas por la limadura de hierro, por lo tanto se hace necesario indagar en qué dirección pueden estar orientadas dichas líneas y abstraer la idea de la tridimensionalidad del campo magnético mediante las acciones que se evidencian en las agujas suspendidas por cuerdas en todas las direcciones del imán. Aquí pasamos del plano que describimos con la limadura de hierro y lo extrapolamos de tal forma que podemos pensar en dichas líneas en todas las direcciones del imán, obedeciendo al mismo principio en el cual la acción del imán depende de la distancia de un punto en el espacio en las cual se analice.</p>
Experiencia 7	Erizo magnético

Actividad	Algunas aclaraciones
 <p data-bbox="250 1541 950 1604">Ilustración 77. Experiencia erizo magnético (Fuente: Elaboración propia)</p>	<p data-bbox="987 226 1385 884">La formación de cuerpos tridimensionales como el “erizo magnético” que consiste en la acumulación de limadura de hierro, alfileres o cualquier tipo de cuerpos ferromagnéticos adheridos a un imán, son elementos que permiten al estudiante reconocer la interacción del campo magnético en tres dimensiones; además les permite identificar una vez más los lugares en los cuales la acción del imán es más intensas en función de la distancia, ya que la acumulación de limadura es más intensa en tanto más cerca del imán esté la limadura o los alfileres, de tal forma que esas regiones del espacio se configuren de forma distinta.</p> <p data-bbox="987 890 1385 1829">Aquí nuevamente es la percepción del estudiante la que es organizada, pues en ausencia del otro cuerpo magnético o de algún elemento ferromagnético, no es posible percibir la organización espacial del entorno del imán, por lo que un elemento como el imán no sería más que un pedazo de piedra donde el estudiante no podría describir algo más a la forma y el color. Por lo tanto es solo mediante la interacción que se pueden evidenciar cambios y son estos cambios los que permiten que el estudiante construya explicaciones y organice el fenómeno. En esta actividad hay una intensión particular de que el estudiante de una forma directa perciba la forma en que está estructurado el espacio circunvecino del imán gracias al campo que este genera; de tal forma que el campo magnético es una configuración espacial específica que depende de la geometría del imán y de la intensidad del campo magnético del imán que se analice.</p>
Experiencia 8	Construcción del levitrón

Actividad	Algunas aclaraciones
 <p data-bbox="261 911 938 968">Ilustración 78. Experiencia “construcción del levitrón” (Fuente: elaboración propia)</p>	<p data-bbox="984 226 1385 1371">Hasta este punto se han trabajado distintas experiencias que permiten al estudiante construir la noción del campo magnético como una configuración espacial determinada que se debe a la presencia de cuerpos magnéticos. Esta experiencia permite que los estudiantes relacionen dicha noción a fin de construir un artefacto en el que sea evidente la influencia de configuraciones espaciales que constituyen el cuerpo como lo es el tamaño, además de la influencia de la distancia al analizar y organizar los elementos que demandan la construcción del levitrón. Aquí será importante que los estudiantes reconozcan la interacción entre dos fuerzas como lo son el peso y la fuerza magnética del imán para la construcción de aquello que se denomina “equilibrio” entre dichas fuerzas como base del funcionamiento del artefacto; una vez más el interrogante que promueve la construcción y organización de la experiencia es dar cuenta de cómo funciona el artefacto y de qué manera las experiencias propuestas anteriormente contribuyen a la organización y construcción de explicaciones entorno a fenómenos magnéticos.</p>

Análisis a propósito de los fenómenos magnéticos.

En la siguiente tabla se presentan tres columnas con el fin de organizar los argumentos que surgen a propósito de las actividades que relacionan fenómenos magnéticos. La primera columna sintetiza los alcances de las distintas actividades, la segunda columna relaciona los conceptos relevantes que surgen en medio de la necesidad que se propone a los estudiantes para organizar cada una de las experiencias y la tercera columna es un análisis y sustento de los “Argumentos relevantes” propuestos en la columna uno con base en las afirmaciones,

construcciones y argumentaciones de los estudiantes para cada una de las actividades propuestas.

Fenómenos magnéticos		
Argumento relevante	Concepto asociado	Análisis con relación a las afirmaciones de los estudiantes
Es a partir de las experiencias que se realizan, tratando de explicar el comportamiento de los cuerpos que se acercan (interacción) a los imanes naturales o inducidos, que los estudiantes caracterizan y cualifican los cuerpos magnéticos.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Interacción</i> • <i>Cuerpos magnéticos</i> • <i>Cuerpos ferromagnéticos</i> 	<p>Descripciones iniciales que parten de afirmaciones como:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>No sé si sea importante pero los imanes son muy parecidos a piedras, duros y fríos</i> • <i>Los imanes atraen metales</i> • <i>Es obvio que los imanes no atraen la madera, el plástico, la tela y otros materiales que no sean metales, pues solo funcionan con metales y más imanes.</i> <p>Hacen que las interacciones con cuerpos magnéticos sean importantes en el momento de cualificar dichos cuerpos.</p> <p>En este sentido la disposición espacial del entorno del cuerpo magnético (imán) es la base de las explicaciones, los estudiantes reconocen una organización particular en dicho entorno, en el cual hay unas disposiciones particulares que solo en presencia de cuerpos ferromagnéticos (cuerpos que son atraídos por los imanes) puede hacerse perceptible visualmente, no como una realidad, sino como una representación de lo que no se puede visualizar (campo magnético).</p> <p>Lo anterior es posible afirmarlo con base en comentarios como:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Los imanes atraen solo algunos metales que se acercan</i> • <i>Nunca se ve lo que pasa para que el metal se pegue</i> • <i>Algo debe pasar cerca del imán para que se unan algunos metales</i> • <i>Cuando se pone la madera o el plástico debe pasar algo cerca del imán pero como no funciona con plástico o madera parece que no pasa nada</i> • <i>La limadura sirve para dibujar lo que pasa cerca del imán</i> • <i>El campo magnético no se ve pero si se manifiesta moviendo cosas</i> • <i>La limadura de hierro hace que veamos manifestaciones del campo magnético más lejos de lo que pensamos</i>

Fenómenos magnéticos		
Argumento relevante	Concepto asociado	Análisis con relación a las afirmaciones de los estudiantes
		<ul style="list-style-type: none"> • <i>Entre más cerca el imán pega más cuerpos ferromagnéticos</i> • <i>Como no todos los metales se pegan al imán hay dos clases de metales y los que se pegan son los ferromagnéticos</i> <p>De esta forma la experiencia realizada con la limadura de hierro es base para que los demás grupos organicen una serie de representaciones en torno a las experiencias que les corresponden. Aquí los estudiantes atribuyen los efectos, a que el espacio está dispuesto de una forma particular, pero solo al caracterizar los cuerpos magnéticos a partir de aquellos sobre los que se puede generar algún tipo de acción es que se puede dar cuenta de tal disposición espacial.</p> <p>Lo anterior es evidente en afirmaciones como:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Todos los imanes dibujan líneas de campo en todas las direcciones donde quiera que se pongan, pero solo se ven si se acerca un ferromagnético o un imán.</i> • <i>Aunque no lo veo yo me imagino las líneas de campo cerca del imán.</i> • <i>Solo los imanes generan un campo magnético que no se ve pero se puede dibujar con la limadura de hierro.</i> • <i>Los imanes son los únicos que atraen ferromagnéticos y que dibujan líneas de campo alrededor.</i> <p>El estudiante establece uno rangos cualitativos de la acción del imán (campo magnético) a partir de las acciones que logran plasmar por medio de la limadura de hierro y afirmaciones como</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>el campo magnético es más intenso en los extremos del imán (polos).</i> • <i>cerca del imán se dibujan más las líneas pero lejos donde no se pega nada también hay unas líneas.</i> • <i>como vimos, medimos que los tornillos se pegan a dos o menos centímetros pero tal vez es el tamaño porque el polvito si se mueve más lejos por eso se ven figuras más lejos</i> • <i>entre más cerca más se pega la limadura pero a medida que está más lejos la limadura el imán no hace casi nada</i>

Fenómenos magnéticos		
Argumento relevante	Concepto asociado	Análisis con relación a las afirmaciones de los estudiantes
		<ul style="list-style-type: none"> • <i>si el imán está lejos no hace casi nada solo es que no se ve porque en la hoja si se hace las líneas mucho más lejos, o sea que el efecto es menos entre más lejos está</i> • <i>los polos son donde se dibuja más claro</i> <p>Son construcciones que se hacen posibles en la medida que el estudiante describe los fenómenos de atracción y repulsión de cuerpos pequeños. El estudiante mediante disposiciones espaciales como la distancia y relaciones lógicas de proporcionalidad, generaliza las acciones intensas del imán en sus polos como explicación de la cantidad de limadura que se acumula en dichas regiones y el decrecimiento de dichas acciones por consecuencia de la distancia y por ende la disminución en la acumulación de limadura de hierro.</p> <p>En este punto los estudiantes asocian además las disposiciones espaciales como el tamaño a las explicaciones del fenómeno, afirmando – <i>la limadura de hierro no se pega pero si se mueve para formar las líneas desde lejos pero a un tornillo o a una tuerca no le pasa nada cuando está lejos, debe ser que es más difícil mover algo más grande y la fuerza del imán no es tanta</i> - ya que es la limadura de hierro (elemento diminuto) y no cualquier trozo de metal el que permite reconocer dichas acciones del campo magnético, pues en principio con las experiencias que se proponen de atraer cuerpos con los imanes, pareciera que es necesario el contacto para evidenciar la acción del imán pues los niños decían – <i>los metales se pegan en el imán y el imán funciona sobre unos metales que si se pegan-</i> ; así la acción no era atracción sino “pegarse”, los materiales se pegaban o no, pero no se atraían. Para el caso de la limadura de hierro las organizaciones tanto experimentales como explicativas cambian, ya que los estudiantes reconocen que los efectos del imán no son posibles únicamente mediante el contacto sino que en regiones cercanas también hay efecto y es por tal motivo que se forman las líneas de campo como “manifestaciones” del campo magnético, esto se refuerza cuando los estudiantes afirman <i>-la limadura de hierro que está cerca se pega pero la</i></p>

Fenómenos magnéticos		
Argumento relevante	Concepto asociado	Análisis con relación a las afirmaciones de los estudiantes
		<p><i>que está lejos también se mueve porque el imán la jala, pero como está lejos no tiene tanta fuerza como para que se pegue, pues como dijimos la fuerza del imán es más poquita al estar lejos-.</i></p> <p>En estos registros resulta interesante el proceso de cualificación y clasificación de los materiales a partir de sus propiedades magnéticas, en donde se conforman tres grupos particulares, los que son atraídos por los imanes, los imanes y los que no sufren ninguna acción perceptible en presencia de los imanes esto es propuesto con afirmaciones como:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>los imanes los conocemos porque atraen unos metales y con los imanes se atraen y se repelen, además los imanes no hacen nada ni a la madera ni al Plastico o cosas así y tampoco a los metales que no son ferromagnéticos.</i> • <i>Hay dos clases de metales los que se pegan al imán y los que no, los que si dijimos que son ferromagnéticos</i> • <i>Las líneas de campo que están alrededor de los imanes solo afectan otro imán y los ferromagnéticos</i> <p>A los imanes se les caracteriza como cuerpos magnéticos a consecuencia del proceso de consulta, pero lo interesante es que “lo magnético” ha sido una apropiación y una construcción de los estudiantes en el análisis y organización de las experiencias que se han puesto en juego siendo evidente cuando los estudiantes dicen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>yo podría probar que algo es un imán solo con otro imán pues aunque no lo veo con las líneas de campo de un lado se atrae y las otras lo empuja</i> • <i>no todos los cuerpos son magnéticos, solo unos se atraen y se repelen</i> • <i>el magnetismo es producido solo por cuerpos magnéticos, pero algunos metales se vuelven magnéticos por momentos</i> • <i>una cualidad de los cuerpos magnéticos es que se produce un campo magnético que no se ve pero si se manifiesta moviendo cosas o cuando organiza cosas como la limadura de hierro</i>

Fenómenos magnéticos		
Argumento relevante	Concepto asociado	Análisis con relación a las afirmaciones de los estudiantes
		<p>Por otra parte a los cuerpos que se atraen se les denomina ferromagnéticos de acuerdo a las consultas previas, pero surgen distinciones importantes ya que pareciera en principio que la idea de los estudiantes era que todos los metales eran ferromagnéticos, es decir que todos los metales eran atraídos por los imanes y es en medio del análisis de la experiencia que la idea de “lo ferromagnético” se significa, ya que para dar explicación al fenómeno el estudiante reconoce que hay características de composición en los materiales que los clasifica como ferromagnéticos afirmando que:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>los metales que se pegan o se atraen con los imanes son los ferromagnéticos y no todos como pensábamos al principio pues yo no conocía el truco de probar las monedas falsas con un imán</i> • <i>según lo que consultamos los ferromagnéticos tienen hierro y níquel dentro o sea que los que no se pegan deben ser de un material diferente, solo se pegan los que tienen algunos materiales dentro</i> <p>Finalmente, es relevante reconocer la forma en que los estudiantes describen lo ferromagnético, como un material que es atraído por los imanes, esto es de gran importancia para ellos, ya que se suponía que los materiales que se atraían por los imanes, podrían ser repelidos por el polo contrario (superficie opuesta) que los atraía, entonces cuando los estudiantes describen los cuerpos ferromagnéticos como cuerpos que son atraídos por cuerpos magnéticos, se evidencia una organización construida por ellos mismos en la medida que van organizando sus experiencias y además van construyendo explicaciones del fenómeno cualifican y clasifican los cuerpos con relación a la interacción. esto es evidente cuando exponen que:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>solo los cuerpos ferromagnéticos se atraen al imán</i> • <i>uno conoce que es ferromagnético porque se pega o se mueve hacia el imán</i> • <i>los imanes no repelen lo metales solo los atraen</i>

Fenómenos magnéticos		
Argumento relevante	Concepto asociado	Análisis con relación a las afirmaciones de los estudiantes
		<ul style="list-style-type: none"> • <i>la diferencia entre los cuerpos magnéticos y los ferromagnéticos es que los metales solo se atraen los otros sufren dos cambios</i> <p>Para el caso de los cuerpos que no son atraídos simplemente se reconoce que no tienen características magnéticas de ningún tipo, ya que no es posible evidenciar el cambio que se desea en cada experiencia (atracción o repulsión) afirmando que:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>lo que no se pega ni se mueve hacia el imán es porque no tiene material de hierro</i> • <i>si no se pega o se repele es porque no es del material del imán por eso cosas que no son metales ni imanes no se afectan, son diferentes por dentro</i> • <i>lo que no se pega es por el material</i>
<p>Es una propiedad de los cuerpos magnéticos orientarse en un sentido particular de acuerdo a la interacción con otros cuerpos magnéticos; es así que la dirección y orientación de los imanes con libertad de movimiento corresponde al polo opuesto de otro imán. (esta afirmación corresponde al fenómeno de los imanes suspendidos por hilos muy delgados)</p>	<p><i>Interacción. Dirección y sentido de orientación.</i></p>	<p>En consecuencia de la actividad de suspender un imán de barra en un hilo muy delgado (procurando el mínimo de torsión) los estudiantes argumentan en medio de una discusión – <i>el imán siempre ha quedado apuntando al mismo lado como si algo lo halara, mejor dicho lo atrae por un lado y solo puede ser que lo atrae otro imán o un metal- si fuera un metal podría quedar para el otro lado porque siempre lo atraería pero como queda hacia un solo lado debe ser un imán que tiene el otro polo- - si es como cuando uno pone los imanes de lados contrarios pero aquí solo hay un imán - - tal vez no lo vemos tampoco pero hay algo que lo atrae a ese lado siempre- - puede que alguien tenga un imán muy poderoso de neodimio hacia ese lado- - no puede ser un imán de alguien porque esto mismo lo hicimos en la casa y me funcionó igual- - yo leí algo parecido de un experimento que se hacía con una aguja para explicar la brújula- - entonces el otro imán debe ser la Tierra pues es lo mismo que pasa cuando acercamos imanes a la brújula se quedaba hacia un solo lado y si le dábamos vuelta al imán se quedaba solo hacia el otro lado- - el imán es como la parte de la brújula que se mueve pero mucho más grande y según sé se mueve por la Tierra, apunta al polo norte o sur de la Tierra.</i></p>
<p>Los estudiantes deducen la orientación de los polos de</p>	<p><i>Interacción. Organización.</i></p>	<p>Es posible afirmar que los estudiantes a partir de la experiencia con la limadura de hierro y la</p>

Fenómenos magnéticos		
Argumento relevante	Concepto asociado	Análisis con relación a las afirmaciones de los estudiantes
<p>un imán reconociendo organizaciones en el espacio circunvecino; al cambiar dicha organización espacial las acciones (atracción o repulsión) sobre los cuerpos es diferente.</p>	<p><i>Polo magnético.</i></p>	<p>formación de las líneas de fuerza reconozcan organizaciones particulares que ayudan a fortalecer las explicaciones con relación a los fenómenos magnéticos, siendo esto evidente en algunos argumentos como - <i>Cuando hacemos lo de la limadura de hierro se formaban líneas hacia el otro imán cuando eran polos opuestos y hacia el mismo imán si eran polos iguales- - si se veía como las líneas se unían hacia el otro imán en polos opuestos y las otras se veían dobladas para el otro lado, como hacia atrás - -los dibujos que se forman son diferentes si son polos iguales o si son opuestos- - con solo ver las líneas uno sabe si son el mismo polo o si son diferentes.</i> Aquí las explicaciones giran en torno a las organizaciones espaciales que se establecen en el proceso de interacción limadura-imanés (iguales y distintos polos interactuando)</p>
<p>Una aguja magnetizada resulta ser un modo para determinar la polaridad de un imán, reconociendo que a determinada distancia los imanes y el campo que generan interactúan con otros campos generados en el espacio por cuerpos magnéticos como la aguja imantada. Aquí resulta interesante que el estudiante organice una experiencia de tal modo, que proponga la interacción de dos cuerpos magnéticos mediante la asociación de la idea de campo como una configuración espacial.</p>	<p><i>Interacción. Campo magnético. Polo magnético. Campo magnético terrestre.</i></p>	<p>Las experiencias previas de interacción entre cuerpos magnéticos permiten que el estudiante argumente las propiedades de los imanes y la interacción al perturbar el espacio que lo rodea mediante afirmaciones como: -<i>ahora es muy fácil saber cuál es el polo de un imán, si apunta al norte es el sur y lo contrario- - se puede marcar un imán y con ese se pueden marcar los demás igual todo tienen solo dos polos- - con el imán marcado si se pega por el lado norte, el lado que se pega es sur y ya se sabe que el otro es norte y se prueba porque no se pega- - si se acerca el imán mucho a la brújula siempre se pega y no funciona como un imán queda loca y se daña- - toca estar no muy cerca de la brújula para que se puedan marcar los imanes- -ahora entiendo porque el norte de la brújula no es el norte del imán, el campo del polo sur de la tierra es el que atrae el campo del polo norte de la brújula entonces la roja no es el norte pero si señala el norte-</i> aquí es evidente la idea de campo magnético, los estudiantes reconocen afecciones en el espacio que rodea los cuerpos magnéticos y además reconocen los efectos de interacción entre campos magnéticos como el caso de la brújula y el campo magnético terrestre.</p>

Fenómenos magnéticos		
Argumento relevante	Concepto asociado	Análisis con relación a las afirmaciones de los estudiantes
<p>Los campos magnéticos no son visibles pero se pueden percibir los efectos que tales campos producen. Aquí es interesante dar cuenta de la forma en que el estudiante organiza la experiencia a partir de lo que puede percibir, dando cuenta del campo magnético de acuerdo a las disposiciones espaciales que se evidencian, de tal modo que lo que no puede percibir de forma visual resulta generando una necesidad para la construcción de explicaciones con respecto a las interacciones (movimiento u organizaciones en el espacio) que percibe.</p>	<p>Interacción. Campo magnético</p>	<p>Para los estudiantes la idea de campo magnético converge en procesos de interacción entre cuerpos, el hecho de afectar o ser afectado propone la idea de campo magnético presente aun cuando no sea perceptible de forma visual. Aquí es relevante la organización que el estudiante hace para argumentar la presencia de un campo magnético y como es necesaria la presencia de otros cuerpos que puedan ser perturbados por dicho campo para generar una representación visual, de tal modo que son los efectos los que dan cuenta de la presencia de un campo magnético, siendo esto evidente en afirmaciones como:</p> <p><i>-Las líneas de campo no se ven pero así no eche limadura de hierro están al rededor del imán- la Tierra tiene líneas de campo también invisibles que chocan con las del imán de la brújula- - yo no puedo ver las líneas de campo pero si se siente que dependiendo de la distancia atrae o repele más el otro imán-</i></p> <p>Es posible afirma que hay una noción de organización espacial específica producida por el campo magnético del imán, aun cuando no se menciona de forma explícita, ya que cuando el estudiante reconoce que con limadura de hierro o sin limadura de hierro existen líneas de fuerza que afectan el espacio que rodea el imán, está atribuyendo algunas propiedades al espacio que no son posibles en ausencia de un cuerpo magnético.</p>
<p>En la experiencia de la separación de los elementos ferromagnéticos (Erizo magnético) mediante cuerpos magnéticos, la intensidad del campo debe ser suficiente como para perturbar los cuerpos magnéticos y en ese caso la distancia resulta ser relevante, ya que la idea de polaridad surge como la organización espacial de regiones en las cuales se concentra más limadura de hierro y por ende el campo</p>	<p><i>Interacción. Distancia. Intensidad de campo magnético. Material ferromagnético.</i></p>	<p>La noción de intensidad de campo magnético en función de la distancia se evidencia en discusiones en las que los estudiantes intentan argumentar las razones por las cuales las semillas se separan de la limadura de hierro al interactuar con un imán, dentro de las cuales encontramos las siguientes explicaciones.</p> <p><i>-Las cosas se pueden separar porque están cerca del imán- - lo que se queda pegado como erizo magnético es todo lo ferromagnético- - los polos del imán están en los bordes del imán y así como lo de la limadura se amontonaba más entre más cerca de los polos aquí pasa igual y se amontona en los polos- - si se aleja el imán no se va a separar- - la tapa del frasco es como para que quede cerca muy cerca pero que no se toque igual</i></p>

Fenómenos magnéticos		
Argumento relevante	Concepto asociado	Análisis con relación a las afirmaciones de los estudiantes
magnético es más intenso dependiendo de la distancia en la que esté situado un cuerpo que pueda ser afectado por dicho campo magnético.		<p><i>se atraen hacia el imán- - el vidrio es igual sirve para acercarse mucho al imán pero igual no se toca la limadura con el imán igual como se atrae parece que se pegara y entre más cerca se amontona mucho más-</i></p> <p>En estos experimentos los estudiantes atribuyen unas características particulares al espacio en presencia de cuerpos magnéticos.</p> <p><i>-las líneas de campo están en todas las direcciones de los imanes pero son más débiles si el imán está lejos- -cuando yo muevo el imán en el aire o en cualquier lugar estoy moviendo las líneas de campo-</i></p> <p>Siendo lo anterior una afirmación implícita de que la noción de campo magnético está asociada a la perturbación del espacio que rodea el imán.</p>

Análisis general de la noción de espacio en los fenómenos magnéticos

En este apartado fue relevante el papel que se da a la interacción como cambio en la organización espacial entre cuerpos, la clasificación de los materiales según sus propiedades magnéticas, las formas particulares de organización espacial que se configuran alrededor del imán y las relaciones de proporcionalidad que se establecen entre los efectos de la interacción y la distancia entre cuerpos que interactúan.

Pues si bien la intención de la actividad no es la de enfocarse en la comprensión de un concepto en específico, sino que se propone rastrear todos aquellos elementos de espacialidad que están implícitos en la enseñanza de la física, las comprensiones y organizaciones que construyen los estudiantes resultan ser fundamentales para la investigación. por lo tanto el marco de las comprensiones y organizaciones que se mencionan en primera medida resulta relevante la idea de interacción, ya que esta vincula la necesidad de tener dos o más cuerpos organizados de tal forma que sea posible percibir algún tipo de cambio de posición bien sea por atracción o repulsión, ligado a esta interacción se constituye la distancia como elemento fundamental en el proceso de organización de la experiencia pues dependiendo de esta se

percibe los efectos o no, de tal forma que en la medida que se incrementan las distancias entre los cuerpos que interactúan los efectos resultan ser menos intensos o nulos.

Por lo tanto teniendo presente la distancia como un parámetro de interacción entre cuerpos, se construye la noción de magnetismo como una propiedad de la materia ya que en posiciones adecuadas elementos de distintos materiales presentan algunos cambios, dentro de los cuales se percibe atracciones, atracciones y repulsiones o simplemente la neutralidad de algunos cuerpos en interacción con otros, esto conlleva a un proceso de clasificación de materiales según los efectos de interacción que se perciben, llegando a la noción de lo ferromagnético como una propiedad de la materia.

Finalmente con base en los tres elementos que se mencionan anteriormente se construye la noción de campo magnético como una organización espacial específica, esta de forma implícita relaciona la interacción entre cuerpos (para este caso limadura de hierro – imán), la distancia como parámetro de organización (pues la intensidad de las líneas de campo dependen de la cercanía de la limadura de hierro con el imán) y de la clasificación de los materiales, ya que se reconoce el imán como un cuerpo distinto a la limadura de hierro (cuerpo ferromagnético) por la forma en que interactúan; de tal modo que gracias a esta interacción es posible percibir el campo magnético y relacionarlo con una forma ordenada de cuerpos (limadura de hierro interactuando con el campo magnético del imán) en el espacio.

En estos términos resulta relevante la forma en que con base en cada una de las experiencias intencionadas propuestas los estudiantes identifican propiedades particulares de los cuerpos a partir de las formas de interacción; de tal modo que para un cuerpo el atraerse, repelerse o permanecer “neutro” al interactuar con otros cuerpos; resultan ser categorías que permiten llegar a procesos de clasificación y al reconocimiento del magnetismo como una propiedad particular de la materia (entendiendo la materia como la composición de los cuerpos que interactúan en cada momento).

Finalmente estos procesos de interacción han permitido que los estudiantes organicen de forma particular sus experiencias y construyan argumentos frente a lo que es perceptible a simple vista como las interacciones entre imanes o entre imanes y cuerpos ferromagnéticos a cortas distancias y lo que no es fácil de percibir como lo es la idea del campo magnético a

distancias “lejanas” del imán pero que se puede deducir de forma lógica o mediante configuraciones más específicas, donde la limadura de hierro es un elemento que se constituye necesario al aceptar que la acción del campo magnético sobre cuerpos (ferromagnéticos) más pequeños es más fuerte .

Lo anterior se puede afirmar en la medida que algunos argumentos de los estudiantes proponen una organización del espacio en presencia de los imanes, aceptando que esta configuración depende de las interacciones con elementos del entorno de tal modo que las consecuencias de la interacción son consecuencia tanto de la distancia, como de la forma en que se organicen los cuerpos, del tamaño y del material de los elementos que interactúan con el campo magnético generado por el imán.

Estas organizaciones parten de la necesidad de observar acciones poco evidentes al alejar los imanes de los cuerpos que pueden ser atraídos, o al emplear elementos muy grandes que no pueden ser afectados por los imanes, en esta medida es importante reconocer el establecimiento de proporcionalidades entre los efectos y las características de los cuerpos que se ponen en interacción con los imanes, ya que elementos muy pequeños (limadura de hierro) permiten evidenciar la forma en que las acciones de los imanes son más débiles al alejarse siendo así relevantes las nociones espaciales de cercanía o lejanía.

En este punto los estudiantes reconocen que aun cuando dos cuerpos magnéticos o un cuerpo magnético y un ferromagnético no se atraigan hasta el punto de unirse a distancias lejanas (con relación a los efectos) el espacio está organizado y hay interacciones que no son evidentes a simple vista o que se pueden deducir, argumentando que el campo magnético a una distancia mayor nunca es nulo; sino que simplemente se debilita en la medida que las distancias de interacción aumentan.

Registro de actividades para el caso de lo electromagnético

En este apartado se propone analizar actividades que incluyen las relaciones entre la electricidad y el magnetismo, es decir, el campo magnético generado por la corriente eléctrica y la acción de un campo magnético sobre una corriente eléctrica. Para el apartado anterior los cuestionamientos y explicaciones surgían en relación al fenómeno de atracción y

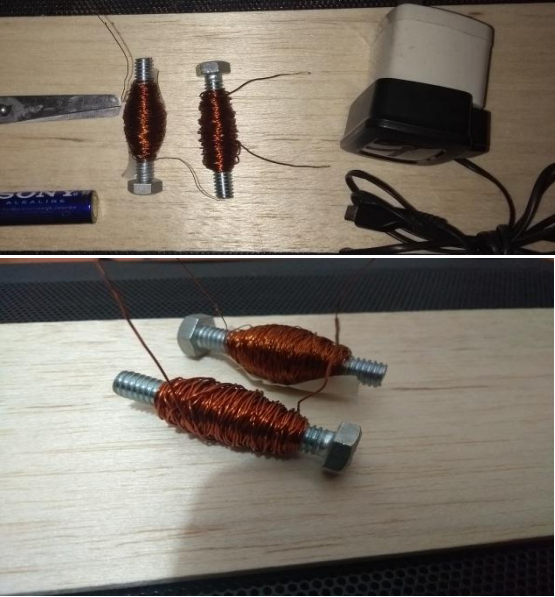
repulsión debido a las propiedades magnéticas de ciertos minerales interactuando con cuerpos ferromagnéticos. Ahora surge la necesidad de analizar una serie de fenómenos que relacionan la interacción eléctrica y magnética, donde la corriente eléctrica tiene la connotación de fuente del campo magnético; de tal forma que cargas en movimiento producen campos magnéticos que a su vez ejercen acciones sobre otras cargas en movimiento; sin embargo en ausencia de movimiento los campos magnéticos desaparecen, dando la posibilidad de la construcción de artefactos que producen campos magnéticos temporales a partir de corrientes eléctricas o la inducción de corrientes a partir de la variación de campos magnéticos.

De acuerdo a las necesidades que se proponen, se plantean cinco proyectos que consisten en la construcción de un electroimán, tres modelos de motor eléctrico y un generador eléctrico; con estos se propone como prioridad dar cuenta del funcionamiento del artefacto, del papel de cada elemento y la forma en que se organiza a fin de ser funcional, bajo la firme intención de que el estudiante construya una imagen representativa de la organización espacial del campo magnético generado por corrientes eléctricas y viceversa, además de las distintas interacciones entre disposiciones espaciales que producen movimientos (bien sea lineales o circulares) como vinculo de los fenómenos electromagnéticos con fenómenos mecánicos.

Grupo 2 Electro imán

A este grupo de estudiantes se les propone como objetivo dar cuenta de las acciones que se evidencian al organizar un elemento magnético inducido (electroimán). Hasta este punto parece que las propiedades magnéticas de los cuerpos dependen únicamente de su material y como para las actividades propuestas se trabaja con imanes de magnetita o neodimio, parece ser que son solo estos materiales los que perturban el espacio en su entorno, de tal forma que cuerpos ferromagnéticos son afectados al ingresar a esta organización espacial. Sin embargo la intención de construir un electroimán en primera medida es reconocer que hay la posibilidad de generar campos magnéticos a partir de organizaciones e interacciones de cuerpos que no tienen propiedades magnéticas o ferromagnéticas como es el caso del cobre; además es importante reconocer que estos elementos no generan campos magnéticos permanentes (como el caso de los imanes naturales) sino que son dependientes de un flujo de corriente, por lo que en ausencia de dicho flujo los efectos cesan. Finalmente es necesario

reconocer que al interactuar dos elementos emergentes en esta actividad (corriente – bobina) se genera una configuración espacial determinada al interior de la bobina, esta genera efectos de atracción y repulsión sobre otros cuerpos al afectar un cuerpo ferromagnético (Núcleo) incluido en la organización de lo que hemos denominado “electroimán” y es dicha afección del núcleo la que permite pensar en una organización espacial determinada; en principio al interior de la bobina, pero además en el entorno del núcleo que se configura como un cuerpo magnético capaz de generar un campo magnético que responde a la organización espacial que denominamos “polaridad” en consecuencia de nociones espaciales como la distancia y tamaño.

Actividad	Algunas aclaraciones
Experiencia 9	Construcción y explicación de un electroimán
	<p>Se propone la construcción de tres electroimanes empleando alambres de diferente calibre y de diferente longitud. El primero consta de 30 metros de alambre de cobre esmaltado calibre 28, el segundo de 20 metros de alambre de cobre esmaltado calibre 26 y el tercero con 9 metros de alambre de cobre esmaltado de calibre 22.</p> <p>Lo anterior surge de interrogantes como ¿existe la posibilidad de que no solo cuerpos de magnetita atraigan o repelan otros cuerpos? Si bien hasta el momento tenemos unos parámetros claros sobre las cualidades magnéticas de los imanes, no se abraza aun la posibilidad de pensar que un cuerpo diamagnético (como el caso del alambre de cobre) que no sufre ningún tipo de acción en presencia de un campo magnético pueda generar un campo magnético; ya que según las experiencias que se han propuesto solo a los materiales ferromagnéticos se les puede inducir un campo magnético temporal.</p> <p>Por ejemplo la puntilla que se pega al imán y logra levantar otros cuerpos más pequeños como alfileres o ganchos, o los tornillos de los puestos que después de estar en contacto con los imanes generaba campos muy similares a los de los imanes permanentes.</p> <p>Propuesto lo anterior se inicia con la construcción del electroimán, teniendo en cuenta las disposiciones espaciales como lo son la longitud y el volumen del alambre y el núcleo; pues son estas disposiciones las que permitirán realizar el análisis de los fenómenos electromagnéticos como base del funcionamiento del electroimán.</p>
<p>Ilustración 79. Embobinado para la construcción del electro imán (Fuente: elaboración propia)</p>	

Grupo 3 Motor Eléctrico (Solenoides)

Esta experiencia parte de la necesidad de explicar cómo funciona este tipo de motor poco convencional y de qué forma dar cuenta de la organización espacial al interior de la bobina (solenoides) que genera un efecto que se asimila a una “succión” hacia el interior de la bobina del elemento ferromagnético (Puntilla), esta “succión” produce un movimiento lineal que será transformado en circular por el mecanismo que se ha construido. Para este proyecto es importante la disposición espacial de cada uno de los elementos pues solo bajo unas determinadas condiciones de longitud y volumen el artefacto es funcional; esto se cumple también para la bobina pues la magnitud del campo magnético que se genera al interior de la bobina depende tanto del calibre como de la cantidad de vueltas de alambre que constituyen la bobina, además la frecuencia de oscilación de la biela, y la frecuencia de giro de la manivela dependen de las disposiciones espaciales anteriormente mencionadas.

Esta experiencia propone al estudiante articular los conocimientos que se han venido construyendo de campo magnético, acción de campo magnético sobre elementos ferromagnéticos y la generación de un campo magnético al hacer circular una corriente por una espira, como base de la generación de un movimiento a partir de un campo magnético intermitente.

Experiencia 10	Construcción de motor solenoide
----------------	---------------------------------

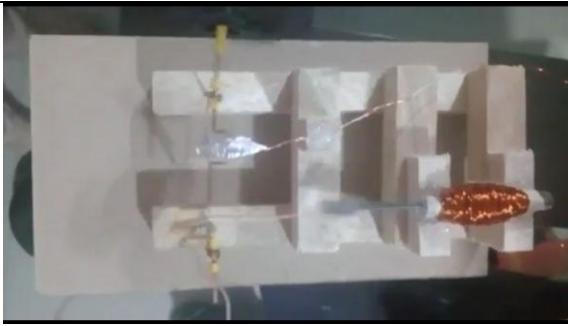


Ilustración 80. Vista superior motor solenoide (Fuente: elaboración propia)



Ilustración 81. Funcionamiento del motor solenoide (Fuente: elaboración propia)

Esta experiencia resulta enriquecedora en varios aspectos; en primera medida este diseño de motor es poco convencional en la enseñanza de la física (en aulas de clase regulares), además resulta poco probable encontrarlo en el mercado para algún uso comercial ya que lo más común es emplea motores de rotor (tambor) que generan un movimiento circular por interacción de campos magnéticos; sin embargo este, como se menciona en la introducción, genera un movimiento lineal, por lo que surge una necesidad adicional de transformar dicho movimiento en un movimiento circular para que sea útil en alguna medida (de acuerdo al uso común de los motores eléctricos), que para este caso es el movimiento de una aspa de ventilador.

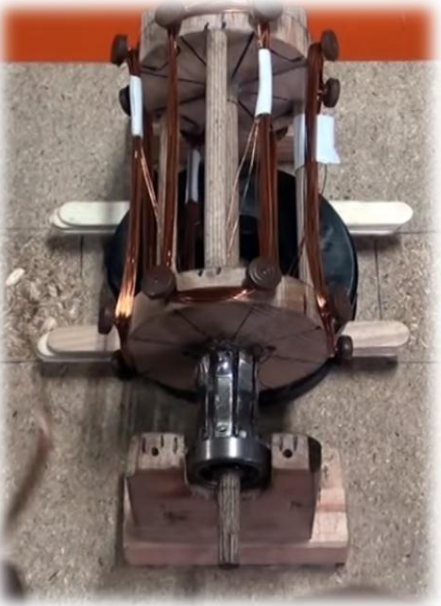
En esta experiencia de alguna forma se rompe un esquema con relación a la organización espacial que se ha venido demarcando para el campo magnético, bien sea natural o inducido, pues los imanes y aun las espiras (con un flujo de corriente) se han concebido como elementos que generan un campo magnético que se manifiesta al exterior del cuerpo; sin embargo en este caso la manifestación es una atracción (a forma de succión) que hace que la puntilla se introduzca al interior de la bobina y no hacia la superficie como en los demás casos. Esto sin duda es asociado a las diferentes experiencias que se han realizado y analizado para fenómenos magnéticos, por lo que habrá que responder no solo al como es el funcionamiento del artefacto y su forma de organización que permite un óptimo funcionamiento, sino que además habrá que dar cuenta de la forma en que se organiza en espacio interior de la bobina para que un material ferromagnético sea atraído hacia él.

En este punto los estudiantes deben tomar como herramientas cada uno de los elementos que se han venido construyendo en torno a fenómenos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos, pues la geometría del artefacto y por ende la organización espacial son las que al final de cuentas permiten caracterizar el funcionamiento del artefacto como un fenómeno electromagnético.

Grupo 4 Motor Eléctrico (Tambor)

Este prototipo de motor eléctrico permite que se genere un movimiento circular a partir de la interacción entre distintas disposiciones espaciales (campo magnético) que interactúan entre si y por ende se perturban, aquí la longitud, el tamaño, la forma y la organización de los distintos componentes son base fundamental para que el estudiantes de cuenta de cómo es el funcionamiento del motor y el por qué se disponen de una forma particular los elementos, el estudiante debe dar cuenta además de la geometría asociada tanto al imán de base (permanente), como a la geometría de cada una de las bobinas que difiere notoriamente al montaje propuesto anteriormente (motor solenoide).

En este proyecto es importante que además de que el estudiante organice una idea de los distintos campos magnéticos que se generan por los imanes (naturales e inducidos) como una disposición espacial particular, reconozca que el funcionamiento del motor depende de la variación en estas disposiciones y que en conjunto se podría afirmar que el motor en funcionamiento constituye toda una disposición espacial particular.

Experiencia 11	Construcción motor de tambor
 <p data-bbox="277 1696 764 1759">Ilustración 82. Elaboración motor de rotor (Fuente: Elaboración propia)</p>	<p data-bbox="829 1062 1385 1717">Motores de esta naturaleza son muy comunes en el mercado, pues su funcionamiento parte de un imán natural estático y unas espiras sobre las que circula una corriente en determinados momentos, de tal forma que puedan interactuar entre si y generar un movimiento circular con base en el principio de repulsión de imanes con igual polaridad. Aquí una vez más se requiere al estudiantes dar cuenta de la forma en que funciona el artefacto y como cada uno de los elementos tiene una ubicación espacial determinada acorde a una organización que determina su funcionamiento; se pretende que el estudiante además de articular las contricciones que se has determinado con relación a lo magnético, identifiquen dos elementos que generan campos magnéticos a partir de principios distintos, por una parte “la bobina” al ser sometida a una diferencia de potencial y por la que circula una corriente y el imán natural.</p> <p data-bbox="829 1728 1385 1892">Acorde a lo anterior se pretende que los estudiantes construyan explicaciones con base en relaciones espaciales implícitas en la construcción y funcionamiento del motor, de tal forma que la geometría, elementos como la distancia y el tamaño</p>

Experiencia 11	Construcción motor de tambor
	cobren relevancia en la medida que el estudiante organiza un fenómeno que sustenta su explicación.

Grupo 5 Motor Eléctrico (Tambor dedos y tres puntos)

Experiencia 11	Construcción de motor de tambor de dos y tres puntos
 <p>Ilustración 83. Funcionamiento motor de rotor de tres puntos (Fuente: Elaboración propia)</p>  <p>Ilustración 84. Funcionamiento motor de rotor de dos puntos (Fuente: Elaboración propia)</p>	<p>Este trabajo parte del mismo principio que se ha propuesto para motores eléctricos convencionales, siendo tal principio la interacción entre campos magnéticos de distinta naturaleza. En primera medida tres imanes naturales y segundo tres electroimanes, los segundos como una consecuencia de la acción producida por una corriente que circula por un conductor.</p> <p>Aquí una vez más se requiere a los estudiantes del grupo que den cuenta del funcionamiento del motor y de su organización teniendo presentes las organizaciones que se han venido construyendo con relación a lo magnético y las formas de interacción de los imanes de acuerdo a su polaridad.</p> <p>Por otra parte se pretende que los estudiantes construyan una representación y explicación que dé cuenta de esa organización espacial determinada que denominamos “campo magnético” presente en cada una de las experiencias y que en estas experiencias (construcción de motores) particularmente son ampliadas y se requiere de un individuo que interiorice un nivel aun mayor de abstracción para dar cuenta de un fenómeno que resulta ser complejo de interpretar y organizar si se compara con las etapas iniciales, ya que en este caso interactúan más de 4 campos magnéticos y algunos son temporales, esa idea de temporalidad resulta compleja en la medida que se asume el flujo de corriente constante y el funcionamiento de los conmutadores (interruptores de paso) resultará complejo de interpretar y más aun de construir una imagen sobre lo que sucede y cómo se organiza el espacio de acuerdo a estas múltiples interacciones.</p>

Grupo 6 Generador Eléctrico

Este punto es preponderante ya que hasta ahora los estudiantes tienen unas claridades sobre la organización y el comportamiento de una bobina por la que circula una corriente, pero en este caso se propone el caso inverso, o sea, que la bobina este en constante movimiento y sean los imanes los que permanezcan estáticos; para esto es necesario que el estudiante de cuenta no solo de la forma de construir el generador eléctrico, sino que sea prioridad el funcionamiento, la composición y la organización de cada uno de los componentes que lo hacen funcional, siendo relevantes en esta medida nuevamente disposiciones espaciales como la longitud en función de la organización interna del motor eléctrico y sus disposiciones geométricas asociadas a la idea de campo magnético y corriente eléctrica.

Se afirma que es preponderante porque los estudiantes deben construir una idea propia de la variación del campo magnético de imanes estáticos. Esto es inicialmente contradictorio, ya que se ha discutido sobre las organizaciones espaciales específicas que se generan por la presencia de un campo magnético, siendo estas “específicas” en tanto no se perturbe la posición del imán (en el caso de la diagramación de las líneas de fuerza). Por lo anterior el objetivo será que se reconozca las perturbaciones de la organización espacial dispuesta por el imán en su entorno al interactuar con un solenoide en movimiento y construir además la explicación de una consecuencia de tal interacción como lo es la generación de electricidad y la transformación de energía mecánica a eléctrica como producto de la variación de un campo magnético.

Experiencia 12	Construcción de generadores eléctricos
-----------------------	--

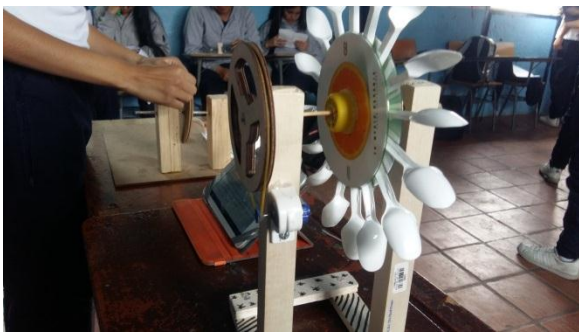
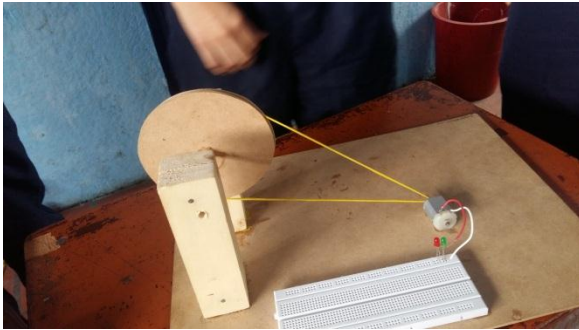
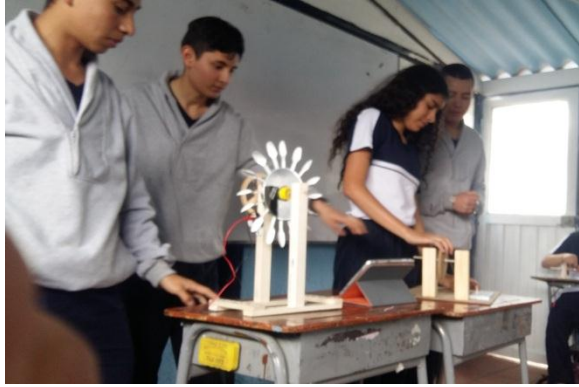


Ilustración 85. Funcionamiento del generador eléctrico (Fuente: elaboración propia)

Esta última actividad se ha realizado con el fin de que los estudiantes reconozcan la reciprocidad presente entre los fenómenos eléctricos y magnéticos, de tal modo que los estudiantes siempre pueda asociar un campo magnético en presencia de una corriente que circula por un conductor y además una corriente eléctrica inducida asociada a la variación del campo magnético cercano a una bobina.

Aquí ya existen claridades sobre el funcionamiento de una bobina como fuente de campo magnético y de fuerzas generadas al interactuar campos, sin embargo la intención es que los estudiantes reconozcan la variación del campo magnético como base de la generación de corrientes en una bobina.

Algunas afirmaciones con relación al funcionamiento de los artefactos electromagnéticos (De las partes al todo)

Artefacto	Argumentos de los estudiantes
Electroimán	<ul style="list-style-type: none"> • La corriente es la que genera el campo cuando recorre todo el alambre que se enrolló • Al inicio pensamos que las espiras debían ser de hierro para que atrajeran otros metales ya que en los otros experimentos el cobre nunca se pegó al imán • El electroimán también genera líneas de campo cada que se conecta igual que pasa con el imán normal, lo único es que cada que se desconecta de la pila ya no es más imán • Con la brújula pudimos ver que también es un campo tridimensional hacia todas las direcciones se mueve la brújula • El núcleo sirve para transmitir el campo que está dentro de la bobina • Igual que con los otros imanes entre más lejos la fuerza del imán es menor
Motor solenoide	<ul style="list-style-type: none"> • La bobina es un electroimán • En el centro de la bobina hay campo magnético y atrae la puntilla igual que los imanes normales • En el motor la bobina debe tener fuerza para mover la puntilla cada que se aleja • Las manivelas deben tener muy poca fricción o si no se para el motor porque la fuerza no es tanta, por eso deben estar bien derechos los alambres de cobre y la lata no debe parar la manivela pequeña cuando se cierra el circuito • Cada que la corriente recorre la bobina hay campo magnético y cuando se despega la lámina ya no hay más campo
Motor de tambor	<ul style="list-style-type: none"> • En este motor hay muchos campos, es como tener muchos electroimanes más el imán natural • Siempre que se conecta el circuito se siente que se empujan el alambre y el imán que se puso debajo, esto es porque los polos son opuestos • En este motor hay varios campos tridimensionales que se chocan unos con otros y por eso hay movimiento • La corriente que pasa por los alambres es la que produce el imán, si no hay corriente no hay ningún efecto • El estator es como un interruptor que se activa y se desactiva muchas veces muy rápido y cada que se activa sirve para dar corriente a una sola bobina por un instante y esa se vuelve imán, después con la otra y así muchísimas veces, pero esto no se ve muy fácil porque la velocidad del motor es mucha, solo se ve cada que falla y lo acomodamos
Motores de tambor dos y tres puntos	<ul style="list-style-type: none"> • Este motor tiene muchos campos • Los campos del motor son opuestos por eso se repelen y se mueve • Solo cuando está conectado el motor hay campo en las bobinas por eso chocan con los campos de los imanes

Artefacto	Argumentos de los estudiantes
	<ul style="list-style-type: none"> • Cada que el motor va girando se conecta y se desconectan las bobinas y aunque es muy rápido eso hace que se cambie la polaridad y que por momentos haya campo y otros no, solo que es tan rápido que parece que siempre está conectado
Generador eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> • Al principio era muy difícil pensar en que el campo variaba dentro si ya habíamos destapado el motor y los imanes siempre estaban quietos, pero luego de pensar qué sucede si estuviéramos parados en las bobinas pues pasa que nos alejamos y nos acercamos y al inicio habíamos dicho y además lo vimos con la limadura que entre más lejos el campo es menos y lo contrario, por eso cada que movemos el rotor el campo si varia para la espira y por eso se genera la corriente • Cuando movemos el centro del motor como hay líneas de campo por los imanes que están dentro se cortan y así se genera la corriente en el alambre de cobre • La corriente es temporal solo se produce cuando se mueve el rotor • El generador consiste en transformar energía mecánica en eléctrica, es igual a lo que se vio de las hidroeléctricas

Análisis a propósito de los fenómenos electromagnéticos

En la siguiente tabla se presentan tres columnas con el fin de organizar los argumentos que surgen a propósito de las actividades que relacionan fenómenos electromagnéticos. La primera columna sintetiza los alcances de las distintas actividades, la segunda columna relaciona los conceptos relevantes que surgen en medio de la necesidad que se propone a los estudiantes para organizar cada una de las experiencias y la tercera columna es un análisis y sustento de los “Argumentos relevantes” propuestos en la columna uno con base en las afirmaciones, construcciones y argumentaciones de los estudiantes para cada una de las actividades propuestas.

De acuerdo a los argumentos anteriormente mencionados se clasifican según el criterio (conceptos asociados) y se realiza en siguiente análisis de las situaciones.

Fenómenos electromagnéticos		
Argumento relevante	Conceptos asociados	Análisis con relación a los argumentos de los estudiantes
Hay claridades sobre las cualidades del campo magnético al hacer asociaciones	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Interacción</i> • <i>Campo magnético</i> • <i>Polaridad</i> 	Las propiedades que en experiencia anteriores se habían atribuido al campo magnético generado por un imán natural, son base de las explicaciones en los fenómenos electromagnéticos, los estudiantes dan

Fenómenos electromagnéticos		
Argumento relevante	Conceptos asociados	Análisis con relación a los argumentos de los estudiantes
entre los fenómenos electromagnéticos y los fenómenos magnéticos previos; existen además claridades sobre las propiedades magnéticas de los cuerpos y se reconoce (aun cuando no se hace explícita) la noción de sistema, siendo este un conjunto ordenado de partes que desempeñan un papel específico en cada montaje pero que dependen del funcionamiento y cualidades de las otras partes.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Intensidad de campo magnético</i> 	<p>cuenta de la intensidad del campo magnético en función de la distancia, reconocen las afecciones y por ende organizaciones del espacio que rodea los cuerpos magnéticos inducidos y atribuyen algunos efectos (o ausencia de ellos) a la naturaleza de los materiales; donde las interacciones son debidas a la presencia de materiales con propiedades magnéticas (cuerpos ferromagnéticos – cuerpos magnéticos). Esto es evidente en las siguientes afirmaciones que hacen los diferentes grupos cuando intentan dar explicación al funcionamiento de los artefactos que se han asignado como objetos de estudio.</p> <p>Grupo 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Al inicio pensamos que las espiras debían ser de hierro para que atrajeran otros metales ya que en los otros experimentos el cobre nunca se pegó al imán</i> • <i>El núcleo sirve para transmitir el campo que está dentro de la bobina</i> • <i>Igual que con los otros imanes entre más lejos la fuerza del imán es menor</i> <p>Grupo 3:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>La bobina es un electroimán que puede atraer metales ferromagnéticos</i> <p>Grupo 4:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>En este motor hay muchos campos, es como tener muchos electroimanes más el imán natural</i> • <i>En este motor hay varios campos tridimensionales que se chocan unos con otros y por eso hay movimiento</i> <p>Grupo 5:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Este motor tiene muchos campos</i> • <i>Los campos del motor son opuestos por eso se repelen y se mueve</i> <p>En cada una de las anteriores afirmaciones la cualificación de los cuerpos magnéticos además de la noción de interacción entre cuerpos magnéticos de acuerdo a sus propiedades es evidente.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Campo magnético</i> • <i>Líneas de campo</i> • <i>Interacción</i> • <i>Propiedades magnéticas</i> 	<p>Propiedades del campo magnético como la tridimensionalidad y la intensidad son relevantes para las explicaciones. Es notable que los estudiantes proponen la idea de líneas de campo como formas de organización, donde las interacciones serán mayores donde estas líneas estén presentes con más intensidad, para este caso particular se asocia una gran cantidad de</p>

Fenómenos electromagnéticos		
Argumento relevante	Conceptos asociados	Análisis con relación a los argumentos de los estudiantes
		<p>líneas de campo al interior de las bobinas y en correspondencia cuerpos ferromagnéticos o magnéticos serán afectados (atraídos o repelidos). La idea de cuerpo magnético y la caracterización del mismo es muy fuerte en estas explicaciones ya que afirmaciones como:</p> <p>Grupo 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>El electroimán también genera líneas de campo cada que se conecta igual que pasa con el imán normal, lo único es que cada que se desconecta de la pila ya no es más imán</i> • <i>Con la brújula pudimos ver que también es un campo tridimensional hacia todas las direcciones se mueve la brújula</i> <p>Grupo 3:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>En el centro de la bobina hay campo magnético y atrae la puntilla igual que los imanes normales</i> <p>Dejan clara la idea que los estudiantes proponen acerca de los cuerpos magnéticos y sus propiedades en función de las interacciones que evidencian en cada experiencia.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Campo magnético</i> • <i>Interacción</i> • <i>Corriente eléctrica</i> • <i>Campo eléctrico temporal</i> • <i>Campo eléctrico variable</i> • <i>Circuito eléctrico</i> 	<p>En este punto hay ciertas claridades sobre la noción de campo magnético y las organizaciones espaciales que este genera; pero se incluye un elemento adicional “la corriente eléctrica”, esta es la responsable de generar campos magnéticos inducidos y además temporales, los estudiantes reconocen que materiales que no caben dentro de la categoría de lo ferromagnético o magnético (como el caso del cobre) en presencia de una corriente eléctrica alteran sus propiedades y generan campos magnéticos. Además la noción de circuito es inducida en la medida que se reconoce el recorrido de la corriente por la espira y de un artefacto (interruptor) que permite o interrumpe el paso de la misma.</p> <p>En consecuencia, las interacciones son producto de las organizaciones espaciales que se hacen posibles únicamente en los instantes en que hay circulación de corriente por los conductores; así el movimiento, la atracción y la repulsión son dependientes del flujo de corriente como se propone en las siguientes afirmaciones:</p> <p>Grupo 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>La corriente es la que genera el campo cuando recorre todo el alambre que se enrolló</i>

Fenómenos electromagnéticos		
Argumento relevante	Conceptos asociados	Análisis con relación a los argumentos de los estudiantes
		<p>Grupo3:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cada que la corriente recorre la bobina hay campo magnético y cuando se despega la lámina ya no hay más campo <p>Grupo 4:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Siempre que se conecta el circuito se siente que se empujan el alambre y el imán que se puso debajo, esto es porque los polos son opuestos • La corriente que pasa por los alambres es la que produce el imán, si no hay corriente no hay ningún efecto • El estator es como un interruptor que se activa y se desactiva muchas veces muy rápido y cada que se activa sirve para dar corriente a una sola bobina por un instante y esa se vuelve imán, después con la otra y así muchísimas veces, pero esto no se ve muy fácil porque la velocidad del motor es mucha, solo se ve bien cada que falla y lo acomodamos <p>Grupo 5</p> <ul style="list-style-type: none"> • Solo cuando está conectado el motor hay campo en las bobinas por eso chocan con los campos de los imanes • Cada que el motor va girando se conecta y se desconectan las bobinas y aunque es muy rápido eso hace que se cambie la polaridad y que por momentos haya campo y otros no, solo que es tan rápido que parece que siempre está conectado <p>De forma sintética es posible afirmar que las anteriores afirmaciones dan cuenta del campo magnético como una organización espacial específica temporal y variables en función de la corriente ya que el espacio es perturbado únicamente en presencia del campo magnético generado por la corriente y este afectará otros cuerpos magnéticos con relación a su intensidad de forma dependiente a la distancia en que se encuentren.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Organización • Disposición espacial • Sistema mecánico 	<p>Dentro de las explicaciones, la ubicación de cada uno de los elementos resulta relevante. Cada elemento corresponde a una secuencia de funcionalidad, de tal forma que la organización espacial de dichos elementos es la que permite que el artefacto que se ha construido sea funcional; en esta medida las distancias, los tamaños, el volumen y la disposición de cada elemento influyen en el funcionamiento y es de</p>

Fenómenos electromagnéticos		
Argumento relevante	Conceptos asociados	Análisis con relación a los argumentos de los estudiantes
		<p>esperarse, ya que en alguna forma lo que se hace es manipular espacialmente algunas variables como la corriente, el campo magnético, el peso, etc., como se evidencia en las siguientes afirmaciones.</p> <p>Grupo 3:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>En el motor la bobina debe tener fuerza para mover la puntilla cada que se aleja</i> • <i>Las manivelas deben tener muy poca fricción o si no se para el motor porque la fuerza no es tanta, por eso deben estar bien derechos los alambres de cobre y la lata no debe parar la manivela pequeña cuando se cierra el circuito</i> <p>Aquí no es solo importante la cualidad de uno de los elementos, o de todos por separados sino que la idea de sistema mecánico se hace relevante, el funcionamiento depende de la disposición espacial del conjunto de las partes. En las siguientes afirmaciones esto queda en evidencia donde la complejidad del fenómeno (funcionamiento del generador eléctrico) se hace comprensible en la medida que se analiza el papel que cada una de sus partes desempeña con relación a su disposición espacial específica.</p> <p>Grupo 6:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Al principio era muy difícil pensar en que el campo variaba dentro si ya habíamos destapado el motor y los imanes siempre estaban quietos, pero luego de pensar qué sucede si estuviéramos parados en las bobinas pues pasa que nos alejamos y nos acercamos y al inicio habíamos dicho y además lo vimos con la limadura que entre más lejos el campo es menos y lo contrario, por eso cada que movemos el rotor el campo si varia para la espira y por eso se genera la corriente</i> • <i>Cuando movemos el centro del motor como hay líneas de campo por los imanes que están dentro se cortan y así se genera la corriente en el alambre de cobre</i> • <i>La corriente es temporal solo se produce cuando se mueve el rotor</i> • <i>El generador consiste en transformar energía mecánica en eléctrica, es igual a lo que se vio de las hidroeléctricas</i> <p>Aquí son la disposición espacial y las nociones de espacialidad las que permiten dar cuenta del funcionamiento del generador eléctrico.</p>

Análisis general de la noción de espacio en la construcción de los motores propuestos

En este apartado una vez más resulta importante el papel de la interacción y aun cuando la finalidad primordial de las actividades intencionadas no es la comprensión particular de una temática específica ni la continuidad de una secuencia de aula que conlleve a un concepto particular, sino el rastreo de las diferentes formas en que se presentan nociones espaciales en la enseñanza de la física, se hace necesario mencionar los logros frente a las comprensiones y organizaciones importantes con los estudiantes a propósito de los fenómenos electromagnéticos, como lo son la construcción de la noción de campo magnético temporal o inducido por una corriente eléctrica, la importancia del diseño (ubicación) de los elementos en la construcción de los artefactos electromagnéticos como garante de la interacción “adecuada” entre cuerpos, el reconocimiento de las propiedades magnéticas de los cuerpos y la posible variación de algunos al interactuar con corrientes eléctricas y la forma en que el campo electromagnético resulta ser una organización espacial específica que se puede evidenciar mediante procesos de interacción de los distintos elementos que componen la máquina.

Es así que las interacciones entre los distintos elementos como lo son la atracción, la generación y transformación de movimiento y el suministro de corriente eléctrica mediante dispositivos mecánicos que conforman los sistemas (artefactos electromagnéticos), de los cuales se requería dar una explicación de su funcionamiento; llevó de la mano la construcción de la noción de campo electromagnético, la clasificación de los materiales según sus propiedades magnéticas (en este caso transitorias para algunos), las formas específicas de organización temporales del espacio que se configuran alrededor de los embobinados sobre los cuales fluía una corriente (imanes inducidos) y las relaciones de proporcionalidad que se establecen entre los efectos de la interacción, la distancia entre cuerpos que interactúan y el paso de una corriente sobre un conductor.

De acuerdo con lo anterior en la práctica que conlleva la construcción de motores o generadores eléctricos, la idea de organización espacial es muy fuerte; ya que la funcionalidad de todas las máquinas depende de que cada uno de sus elementos tenga una ubicación específica, cumpla con unas particulares de relación de tamaño, de materialidad que desarrolle un diseño integrador, pues para este tipo de organización de experiencias no

prima la forma individual de los elementos que componen el artefacto electromagnético sino el diseño completo del sistema, siendo así el tamaño, la forma, las distancias y la intensidad de corriente, elementos estructurales que no se pueden dejar de lado. Consecuentemente en medio de estas organizaciones surge la noción de campo magnético inducido (campo electromagnético) como una organización particular del espacio que responde a las cualidades de un cuerpo magnético.

Dentro de estas cualidades se observan regiones del espacio en las cuales las interacciones son más fuertes y otros lugares en los cuales son más débiles dependiendo de la distancia a la que se ubicara un sensor (imán o cuerpo ferromagnético) que pudiese ser perturbado por el campo magnético inducido por la corriente sobre la bobina. En medio de dichas construcciones conceptuales (argumentos) y físicas (máquinas) es posible llegar a elaborar explicaciones que giran en torno a la organización de un sistema mecánico, que es funcional cuando se genera movimiento a partir de la interacción entre campos magnéticos donde al menos uno de ellos es inducido por una corriente y tal campo da cuenta de la alteración en las propiedades de algunos cuerpos que interactúan, como por ejemplo el caso del cobre por el que circula una corriente, este inicialmente no se perturba al interactuar con un cuerpo magnético, pero se comporta completamente diferente cuando existe una corriente circulando por él.

Es así que la variación de las propiedades magnéticas de algunos cuerpos (temporalmente magnéticos) permite la orientación de discusiones que conllevan a la idea de organizaciones espaciales específicas tanto al interior como al exterior de los cuerpos con propiedades magnéticas inducidas y por ende temporales, que dependen de las nociones de espacialidad como lo son la cercanía o la lejanía de un cuerpo magnético u otros cuerpos que pueden ser perturbados por este

Conclusiones: Un camino por la historia, la profundización, la implementación y la reflexión del quehacer docente, a propósito de la noción de espacio.

Haber tomado la decisión de emprender un breve viaje por la historia y dialogar con personajes como Aristóteles, Galileo Galilei, René Descartes, Gottfried Wilhelm Leibniz, Immanuel Kant y Jean Piaget permite reconocer una serie de elementos fundamentales para la enseñanza de la física en nuestro rol como docentes.

El primer elemento que cabe destacar es que la historia de las ciencias permite al maestro identificar un contexto particular en medio del cual resultan relevantes una serie de preguntas congruentes a unas necesidades que desembocan en la formulación de teorías. Dicho contexto y sus necesidades conllevan a un segundo elemento que es el proceso por medio del cual se buscan argumentar dichas teorías; surgiendo así la necesidad de experimentar, de tal forma que el experimento no es una serie de pasos a seguir sino la respuesta a unas necesidades estructurales a la base del conocimiento.

En consecuencia a lo anterior es posible afirmar que no se descubren conocimientos sino que se construyen en la medida que se da respuesta a una cadena de necesidades interminables. Por lo tanto el maestro al realizar este tipo de análisis, amplía su visión y por ende el panorama de acción, ya que reconoce que de la misma forma que en la historia no se generan preguntas al azar, mucho menos se experimenta sin sentido; en el aula (como lugar de conocimiento) sus acciones deben ser intencionadas, no tratando tal vez de llevar la historia al aula, pero si reconocer las intenciones que la ciencia a lo largo de la historia muestra, donde prima el argumento, la deducción, la explicación, la duda y sobre todo la comprensión de los fenómenos que se desean analizar. En congruencia a lo que se ha expuesto el análisis histórico necesariamente impacta la formación del maestro al sumergirlo en un campo de profundización que proporciona herramientas que apoyan sus intenciones; intenciones que se ven reflejadas en sus prácticas.

Por lo anterior el diseño de actividades intencionadas que se llevan al aula permiten reconocer que la construcción, organización y comprensión de las nociones espaciales en el estudio de los fenómenos físicos son relevantes y están a la base de cualquier argumento teórico. Como resultado la construcción de la noción de cuerpo, la noción de lo magnético y

la noción de lo electromagnético, responden al reconocimiento de organizaciones espaciales específicas que orientan hacia la comprensión y explicación de eventos mecánicos, magnéticos y electromagnéticos en la enseñanza de la física.

De ahí que el aula se transforma en un lugar de reflexión en el cual indagar sobre la noción de espacio permite tanto al maestro como a los estudiantes cuestionarse en primera medida sobre sus formas de organizar y comprender los fenómenos que desean interpretar, cuestionarse sobre la forma en que pueden actuar y sus implicaciones en construcciones científicas (posibles en el aula de clase); además (esto particularmente para el maestro) cuestionarse sobre la forma en que selecciona aquello que compartirá en el aula si el fin es propiciar espacios de construcción de conocimiento.

Finalmente este trabajo ha sido herramienta fundamental para la transformación de la práctica docente; pues ha sido posible la construcción de criterios determinantes en la construcción de actividades, fortaleciendo procesos de organización y el enriquecimiento de experiencias que facilitan la comprensión de formalizaciones teóricas a propósito de la noción de espacio.

Bibliografía

- Aristóteles. (Siglo IV, traducción 1995). Física. Traducción y notas. R de Echandía, Guillermo (1995). Gredos, S.A.
- Descartes. (2002). Los principios de la filosofía, traducción de Guillermo Quintas (2002). Barcelona: Alianza S.A.
- Descartes, R. (s.f.). Biblioteca los grandes pensadores, Descartes, Estudio introductorio Cirilo Flórez. Madrid: Gredos.
- Galilei. (1632). Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias. Traducción de Javier Sadaba (1981). Madrid: Nacional Rustica.
- Galilei, G. (1610). Galileo, observador e intérprete de los cielos. Galileo Galilei, Noticiero sideral. Edición Conmemorativa del IV Centenario de la publicación de Sidereus Nuncius. Prólogo a cargo de Ramón Núñez y José Sánchez, 6-30.
- Gómez Herrera, M. A., & Gómez Parra, M. M. (2006). Modelamiento geométrico de un motor de combustión interna, simulación del ciclo de Otto y representación gráfica de la transferencia de calor del sistema biela, pistón, cigüeñal. Universidad de la Salle.
- Jiménez, J. (2016). Ciencia versus Religión: Un conflicto imposible en tiempos del caso Galileo. Disputatio. Philosophical Research Boletín.
- Kant, I. (1928). *Crítica de la razón pura*. Madrid: Luarna.
- Koyré, A. (1957). Del mundo cerrado al universo infinito. Traducción de Carlos Solís Santos (1999). España: Siglo XXI.
- Kuhn, T. (1956). La revolución copernicana. La astronomía planetaria en el estudio del pensamiento occidental.
- Kuhn, T. (2005). Las Revoluciones como Cambios de la Concepción del Mundo. En S. Valencia, Panorama de las corrientes contemporáneas en historia y filosofía de las ciencias. Universidad Pedagógica Nacional.
- Leibniz, G. (1710). Ensayos de Teodicea, traducción Miguel García, Mercedes Huarte (2013). España: Salamanca.
- Leibniz, G. (1889). *La Monadología*. Madrid: Plaza del progreso.
- Luna Alcoba, M. (1994). La ley de continuidad en G.W. Leibniz. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Malagón Sánchez, Francisco; Sandoval Osorio, Sandra; Ayala Manrique, María Mercedes. (2012). La actividad experimental: Construcción de fenomenologías y procesos de formalización. Praxis Filosófica Nueva serie.

Malagón, J. F. (2013). Construcción de fenomenologías y procesos de formalización. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.

Ochaita, E. (1983). La teoría de Piaget sobre el desarrollo del conocimiento espacial. Estudios de Psicología, Universidad Autónoma de Madrid.

Orozco, J. c. (1999). Síntesis de racionalidad galileana. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.

Piaget, J. (1970). Introducción a la epistemología genética 2. El pensamiento físico. Buenos Aires: Paidós, S.A.I.C.F.

Raymond, S. (1982). Física para ciencias e ingeniería Tomo 2. México: Mc. Graw Hill.