



TEORÍAS SOBRE EL ORIGEN DEL SISTEMA SOLAR Y SU DIFUSIÓN EN LA ESCUELA

Karla Alejandra Cutiva Alvarez

Universidad Pedagógica Nacional

Facultad de ciencia y Tecnología

Departamento de Física

Bogotá, Colombia

2013

Teorías Sobre el Origen del Sistema Solar y su difusión en la Escuela

Karla Alejandra Cutiva Alvarez

Trabajo de Grado presentada como requisito parcial para optar al título de:

Licenciada en Física

Asesores:

M.Sc. Giovanni Cardona Rodríguez.

M.Sc. Ignacio Alberto Monroy Cañón.



Línea de Profundización La Enseñanza de la Física y la relación Física y Matemática


Universidad Pedagógica Nacional

Facultad de Ciencia y Tecnología

Departamento de Física

Bogotá, Colombia

2013

| | | |
|---|---|--|
|  UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Excelencia en la Educación</small> | FORMATO | |
| | RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE | |
| Código: FOR020GIB | Versión: 01 | |
| Fecha de Aprobación: 10-10-2012 | Página V de 87 | |

| 1. Información General | |
|-------------------------------|---|
| Tipo de documento | Trabajo de Grado – Pregrado |
| Acceso al documento | Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central |
| Título del documento | Teorías Sobre el Origen del Sistema Solar y su Difusión en la Escuela |
| Autor(es) | Cutiva Alvarez, Karla Alejandra |
| Director | Cardona Rodríguez, Giovanni; Monroy Cañón, Ignacio Alberto |
| Publicación | Bogotá, D.C 2013 Universidad Pedagógica Nacional, 2013, 65p |
| Unidad Patrocinante | Universidad Pedagógica Nacional |
| Palabras Claves | Mecánica Clásica, Aporte de la Magnetohidrodinámica, Teoría Nebular, Didáctica de la Astronomía, Teoría catastrófica. |

| 2. Descripción |
|---|
| <p>En este trabajo se hace una descripción de los diferentes Teorías que existen en torno a la Creación del Sistema Solar, las cuales son Teoría Catastrófica y la Teoría Nebular. Se realiza una experiencia de Aula la cual está basada en un conjunto de material y actividades para explicar estas teorías con el Club de Astronomía de la Escuela Nacional de Comercio (ESNALCO) y los profesores en formación de licenciatura en Física de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, finalmente se analizó los resultados obtenidos por ellos.</p> |

| 3. Fuentes |
|--|
| <p>Alfvén Hannes, On the Origin of the Solar System [Publicación periódica]. - Mayo 12 1967, Pagina 215-220.</p> |
| <p>Ducrocq, Albert, <i>La Aventura del Cosmos</i> [Libro]. – Barcelona: Nueva Colección Labor, 1968, Capitulo 9 <i>El fenómeno Planeta</i>.</p> |
| <p>Talero, Paco, <i>Experimentos Virtuales de Física</i>, [Libro].- Universidad Central, Capitulo 7.</p> |
| <p>Salvat, Manuel El Sistema Solar [Libro]. - Barcelona: Salvat Editores, 1967.</p> |

Corral, Marco *La morada cósmica del hombre. Ideas de investigaciones sobre el lugar de la Tierra en el Universo*, [Libro].- México, D.F , Capítulo VII , 1997

4. Contenidos

El escrito se desarrolló en cuatro capítulos: El capítulo 1. *Conceptos Físicos en la Teorías sobre el Origen del Sistema Solar*, explica los conceptos físicos necesarios para la validación y el entendimiento del modelo de la creación del Sistema Solar y allí explicar la composición de materia que la compone, sus características dinámicas y sus teorías que dan explicación a este evento. El capítulo 2. *Sobre el Origen del Sistema Solar*, se explica la formación de la estrella-disco y la formación planetaria. El capítulo 3 la *Experiencia en el Aula* se trabajó la *Investigación Descriptiva*, a partir de esta investigación identificamos y conocimos situaciones y acontecimientos en la población que se intervino, lo cual nos permitió hacer predicciones que se realizaron a partir de estudios de encuestas y desarrollo de talleres para probar hipótesis que especifican y ponen a prueba esas explicaciones. Allí se planteó unas estrategias didáctica en donde se centran en actividades que permitirán presentar y trabajar tópicos propios de la Física que llevaron a entender procesos implícitos en la formación de Sistema Solar. Estos tópicos hacen parte de la Mecánica Clásica y La Magnetohidrodinámica. En este capítulo se mostrará la experiencia que se realizó en el Aula en donde fue empleado por el método de la *Didáctica de la Astronomía*, la cual es una disciplina nueva en el campo de que hace muy poco ha comenzado a hacer gestación en Investigaciones Educativas Específicas, que utilizan métodos cuantitativos y cualitativos similares a los que utilizan en otras investigaciones sociales trabajando sobre poblaciones diversas. Basado en esta Metodología en el Capítulo 4 se concluirá que por medio de las actividades propuestas se pudo argumentar que si hubo un cambio de ideas obtenida por los Estudiantes del Club de Astronomía y de los profesores en formación de la Universidad Distrital.

5. Metodología

A partir de la *Investigación Descriptiva* se identificó ideas previas en la población que se intervino, nos permitió hacer un conjunto de material de trabajo en donde a partir de estudios de encuestas y desarrollo de talleres probar hipótesis específicas y poner a prueba estas explicaciones. Con el fin de obtener datos sobre la base de una hipótesis la cual es “Que los estudiantes del Club de Astronomía y los profesores en formación no identifican las Teorías que dan explicación al Origen del Sistema Solar” para extraer generalizaciones que permiten describir e identificar una manera adecuada de difundir la temática. En esta metodología se puede describir por diferentes etapas o fases: Examinar las características del problema elegido, Hipótesis y Datos.

6. Conclusiones

- Dentro de los modelos de Creación de los Sistema Solar se evidencia que el que tiene mayor aceptación es el modelo Nebular.

- La principal crítica al modelo catastrófico está en la baja probabilidad de colisión entre las estrellas debido a la distancia tan grande entre estas.
- Presentamos una hipótesis de trabajo que puede justificar la rotación de la Nebulosa Primitiva en el Modelo Nebular, el cual es un campo magnético que hace prender este proceso de rotación debido a la radiación cósmica de Fondo, aunque esta hipótesis queda abierta para un estudio más profundo de ella.
- Aunque los profesores en formación manejen conceptos físicos, modelación matemática y herramientas computacionales no respondieron adecuadamente en la actividad conceptual Trayectoria de Los Planetas con Regla y Compas.
- Se desarrolló la propuesta del Motor Magnetohidrodinámica con los estudiantes del club de astronomía y plantear una serie de analogías con el modelo nebular y nuestra hipótesis.
- Lo modelos actuales sobre creación del Sistema Solar contemplan la rotación de la nebulosa por fuerzas convectivas, omitiendo el campo magnético, lo cual deja un campo por explorar.

| | |
|-----------------------|---------------------------------|
| Elaborado por: | Cutiva Alvarez, Karla Alejandra |
| Revisado por: | Monroy Cañón, Ignacio Alberto |

| | | | |
|--|-----------|-----------|--------------|
| Fecha de elaboración del Resumen: | 05 | 12 | 20013 |
|--|-----------|-----------|--------------|

En primer lugar quiero agradecer a mis padres queridos, a mis hermanas Paula y Diana por su apoyo incondicional, por sus esfuerzos que con la unión familia hicieron que sacara esta carrera adelante y por los grandes esfuerzos que tuvieron para poder ingresar y culminar mis estudios de pregrado.

A Giovanni Cardona por estar hay constante conmigo y por brindarme tus experiencias profesional desde el inicio de esta Investigación, también por tus regaños, tus consejos, tu amistad, tu amor y tu fidelidad me fortalecieron más para culminar este trabajo.

Al profesor Néstor Méndez y al profesor Alberto Monroy por sus consejos académicos para que día a día diera más de mí y me construyera más como estudiante. A mis compañeras de estudio Carito, Doris Bautista, Consuelo Segura, Mónica a Maicol por robrarme una sonrisa día a día en clase. Y por último a mi abuelita Islena Paredes que con sus oraciones me hizo trasmitir esa linda energía para que día a día me llenara de Sabiduría y tenerme siempre en sus Oraciones... Mil y Mil gracias a todos por apoyarme y estar siempre hay conmigo.



Contenido

| | Pág |
|---|------------|
| RAE | II |
| Agradecimientos | III |
| Intoduccion | 2 |
| | |
| 1. Conceptos Físicos en las Teorías Sobre el Origen del Sistema Solar..... | 9 |
| 1.1 Piezas y Modelos del Sistema Solar | 9 |
| 1.2 Modelos Sobre el Origen del Sistema Solar..... | 6 |
| 1.2.1 Teoria Catastrófica..... | 11 |
| 1.2.2 Teoría Nebular..... | 11 |
| 1.2.3 Base de los Modelos Nebulares..... | 13 |
| 1.3 Momento Angular..... | 13 |
| 1.4 Segunda Ley de Kepler..... | 16 |
| 1.5 Aportes desde la Magnetohidrodinamica..... | 20 |
| 1.6 La crítica y Nuestra Hipótesis | 21 |
| 2. Procesos y Características iniciales en la formación del Sistema Solar..... | 25 |
| 2.1 Los Sistemas Planetarios y sus Satélite..... | 25 |
| 2.1.1 El Disco puede generar Estrellas o Planetas..... | 26 |
| 2.2 Una Estrella y su Disco..... | 26 |
| 2.2.1 Acoplamiento Magnético..... | 27 |
| 2.2.2 Influencia de algo Particular..... | 27 |
| 2.3 Creación de los Planetas | 27 |
| 2.3.1 Rotación Planetaria | 28 |
| 2.3.2 Ley de Titius- Bode | 28 |
| 2.3.3 Protoplanetas a Planetas | 28 |
| 2.3.4 El papel de la Gravitación..... | 29 |
| 2.3.5 Planetas: Gaseosos y Rocosos..... | 30 |
| 2.3.6 La Temperatura de los Planetas..... | 30 |
| 2.4 Los grandes Planetas en el Sistema..... | 30 |
| 2.4.1 El paso de la Centrifugación | 31 |
| 2.4.2 Júpiter y su Mundo | 31 |
| 2.4.3 Saturno: sus Satélites y anillos | 31 |

| | |
|--|-----------|
| 3. Experiencia en el Aula..... | 32 |
| 3.1 Nuestra Experiencia..... | 32 |
| 3.2 Etapas: Investigación Descriptiva..... | 32 |
| 3.3 Didáctica de la Astronomía..... | |
| 3.3.1 Experiencia de los profesores en formación, el caso de las Orbitas de los Planetas y Compas..... | 36 |
| 3.3.2 Experiencia de los estudiantes del Club de Astronomía de la ESNALCO, el caso del Motor Magnetohidrodinámico..... | 41 |
| 4. Conclusiones | 44 |
| Anexo 1..... | 47 |
| Anexo 2..... | 60 |
| Bibliografía..... | 65 |

Introducción

En un famoso tratado sobre las “hipótesis cosmogónicas” Henry Poincaré en 1911 presenta una revisión de las más importantes ideas y modelos acerca del origen del Sistema Solar. Este problema fue tratado principalmente desde la Mecánica Newtoniana y la hidrodinámica. También se cuenta con la teoría de campo de Laplace y se admiten en el momento algunas mejoras hechas desde la Magneto hidrodinámica. Esta teoría introdujo nuevas características al problema como el confinamiento magnético del plasma y la inclusión del campo magnético postulado por Kepler al tener como referente el trabajo de Hilbert *De manetic* (Zeilik, 2002).

Por otro lado el desarrollo de la Mecánica Celeste y el triunfo de la Relatividad General junto con los métodos numéricos y computacionales nos permiten desarrollar modelos que describan mejor la dinámica del Sistema Solar y de esta manera poner a prueba hipótesis sobre su origen.

Esto genera un panorama de interés para el profesor en formación en el área física de como poder acercar a los estudiantes a las teorías que están a la base del Origen del Sistema Solar, teniendo en cuenta que un manejo adecuado del tema implica un conocimiento de los componentes propios de la física como: la mecánica clásica (momento angular y gravitación), termodinámica (procesos químicos de condensación de materiales pesados) y electromagnetismo (campos magnéticos, confinamiento magnético) que generalmente son incluidos y evaluados en la educación media. Por lo tanto este proceso de enseñanza y aprendizaje permitirá generar herramientas para el desarrollo de las competencias básicas en los estudiantes.

En el estudio y análisis de los estándares educativos del Ministerio de Educación Nacional (Nacional, 2006) para el área de ciencias naturales encontramos que no se hace referencia a la necesidad de difundir y enseñar en básica o media los diferentes modelos que tratan de

explicar el origen del Sistema Solar que nombraremos como (TSOSS), solo se hace referencia para algunos grados el abordar conceptos tales como:

Primero a Tercero:

- Registro del movimiento del sol, la luna y las estrellas en el cielo, en un periodo de tiempo.

Cuarto a Quinto:

- Describo los principales elementos del sistema solar y establezco relaciones de tamaño.

Décimo a Undécimo

- Establezco relaciones entre el modelo del campo gravitacional y la ley de gravitación universal.
-

Por otro lado los programas de astronomía de cursos universitarios tampoco involucran este tema (Observatorio Sergio Arboleda, 2011), (Universidad Distrital, 2011), (Observatorio Universidad Nacional, 2013). En las secciones educativas incluidas en páginas Web que apoyan proyectos de la NASA o la ESA, no se incluye un tratamiento o referencia a los (TSOSS)

El Planetario Distrital presenta la cartilla “*estrellas errantes mundos y dioses*” (Planetario, 2013) donde hace una presentación de las características de sistema solar, pero no se interesa por los modelos de creación, tampoco se incluye la temática en las actividades lúdicas diarias.

JUSTIFICACIÓN

Teniendo en cuenta que en los programas de ciencias Naturales en Básica o Media, cursos universitarios y páginas Web educativas de astronomía, no se difunden ni incluyen explicaciones sobre la creación del Sistema Solar. Se realizó un diagnostico de las ideas que tienen los estudiantes de secundaria de la Escuela Nacional de Comercio acerca del Origen del Sistema Solar, la mayor parte de los estudiantes coinciden en atribuir el Origen del Sistema Solar al Big Bang, desconociendo que entre estos dos eventos cósmicos hay un intervalo de tiempo que se puede obtener de la diferencia entre de períodos.

Se tomo una muestra de 202 estudiantes que representan los cursos de secundaria Jornada Mañana de la Escuela Nacional de Comercio en donde se le formula la pregunta de ¿Cómo se creó el Sistema Solar? Pudiendo recolectar sus respuestas las cuales se categorizarón de la siguiente manera:

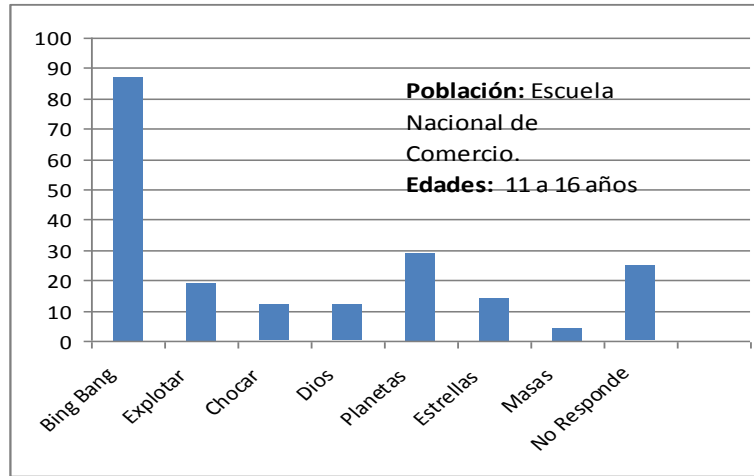


Figura 1. Histograma de los estudiantes encuestado.

Después del análisis se muestra que:

- Se evidencia que la mayoría de los estudiantes con edades heterogéneas consideran que la creación del Sistema Solar fue por el Big Bang.
- El 6% de la población se inclina por una propuesta religiosa, se esperaba un porcentaje mayor debido a que el colegio tiene dinámicas religiosas católicas. Este análisis muestra que ninguno de los encuestados contesta en términos de los modelos aceptados que describen la creación del sistema solar.

Además se tomo una muestra a 21 estudiantes de la Universidad Pedagógica Nacional y a 8 estudiantes de la Universidad Francisco José de Caldas en donde se formuló la pregunta de ¿Cómo se Origino el Sistema Solar? categorizando los datos de la siguiente forma:

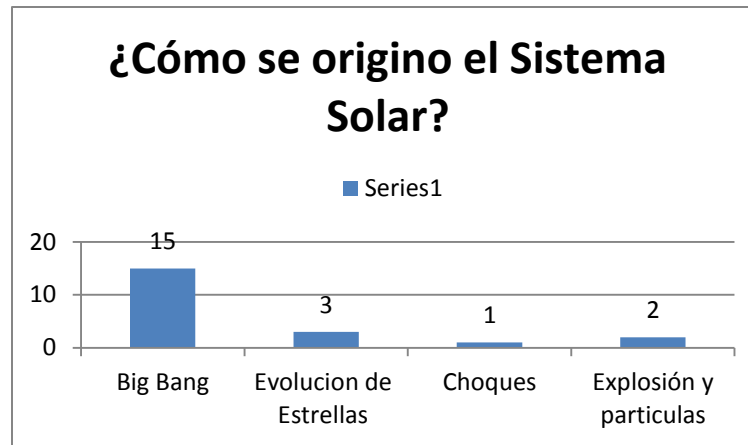


Figura 2. Encuestados a los estudiantes de la UPN.

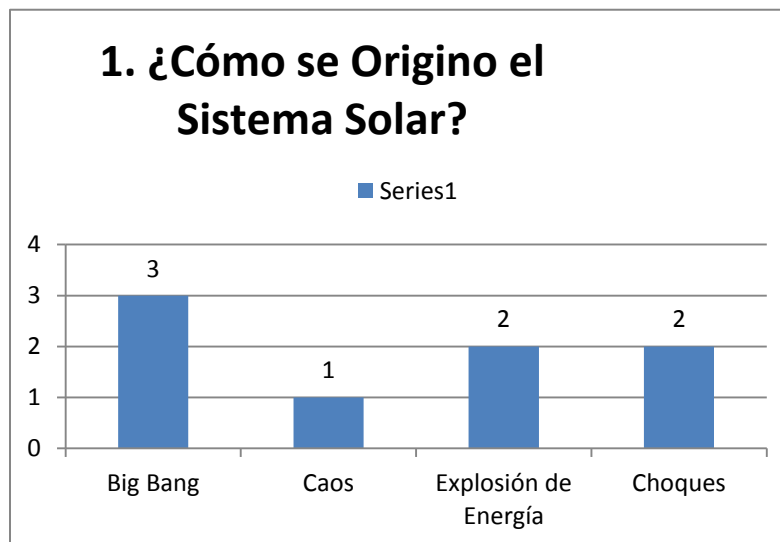


Figura 3. Encuestados a los Estudiantes de la UD.

Esta pregunta nos ayudo a categorizar tanto en el Colegio como en la Universidad que los estudiantes todavía tienen una confusión de tiempos de creación del Universo y del Sistema Solar, siendo así se escogió solo dos poblaciones para seguir el proceso de interpretación de estos hechos y fue el grupo del Club de Astronomía de la ESNALCO y el grupo de profesores en formación de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Con estos resultados se pudo identificar que existe una confusión en la mayoría de las personas referida a la simultaneidad entre el Big Bang y el Origen de Sistema Solar. Se debe a que ellos tienen el modelo geocéntrico en el pensamiento, bien porque las

observaciones del universo se realizan desde la tierra o porque el modelo geocéntrico ubica a la tierra en el origen coordenado del universo y el origen no puede ser más joven que el resto.

La intención que se logró con los estudiantes fue perfeccionar los conceptos que explican las teorías del Origen del Sistema Solar. En donde se relacionan conceptos fundamentales, como las teorías que explican este hecho (*Teoría Catastrófica* y *Teoría Nebular*) y unas guías de implementación que se les presentaron a los estudiantes enfrentándolos a situaciones que permiten relacionar dos eventos, el origen del Universo y el origen del Sistema Solar. Teniendo en cuenta que se evidencia en la encuesta una confusión del 90% de la población frente a la distinción temporal de estos fenómenos.

La consulta se desarrolló en varias etapas en coherencia a los siguientes objetivos propuestos:

- Evidenciar que modelo de Creación del Sistema Solar tiene mayor aceptación.
- Plantear una hipótesis que justifique la rotación de la Nebulosa Primitiva en el Modelo Nebular.
- Identificar y presentar los conceptos físicos necesarios para la validación y entendimiento del Modelo de Creación del Sistema Solar trabajado.
- Construir y presentar el Motor magnetohidrodinámico, con el fin de poder establecer analogías con el Modelo Nebular con los estudiantes del Club de Astronomía de ESNALCO.
- Identificar porque se confunde los tiempos de inicio del Sistema Solar con el inicio del Universo.

El escrito se desarrolló en cuatro capítulos: El capítulo 1. *Conceptos Físicos en la Teorías sobre el Origen del Sistema Solar*, explica los conceptos físicos necesarios para la validación y el entendimiento del modelo de la creación del Sistema Solar y allí explicar la composición de materia que la compone, sus características dinámicas y sus teorías que dan explicación a este evento. El capítulo 2. *Sobre el Origen del Sistema Solar*, se explica la formación de la estrella-disco y la formación planetaria. El capítulo 3 la *Experiencia en el Aula* se trabajó la *Investigación Descriptiva*, a partir de esta investigación identificamos

y conocimos situaciones y acontecimientos en la población que se intervino, lo cual nos permitió hacer predicciones que se realizaron a partir de estudios de encuestas y desarrollo de talleres para probar hipótesis que especifican y ponen a prueba esas explicaciones. Allí se planteó unas estrategias didáctica en donde se centran en actividades que permitirán presentar y trabajar tópicos propios de la Física que llevaron a entender procesos implícitos en la formación de Sistema Solar. Estos tópicos hacen parte de la Mecánica Clásica y La Magnetohidrodinámica. En este capítulo se mostrará la experiencia que se realizó en el Aula en donde fue empleado por el método de la *Didáctica de la Astronomía*, la cual es una disciplina nueva en el campo de que hace muy poco ha comenzado a hacer gestación en Investigaciones Educativas Específicas, que utilizan métodos cuantitativos y cualitativos similares a los que utilizan en otras investigaciones sociales trabajando sobre poblaciones diversas. Basado en esta Metodología en el Capítulo 4 se concluirá que por medio de las actividades propuestas se pudo argumentar que si hubo un cambio de ideas obtenida por los Estudiantes del Club de Astronomía y de los profesores en formación de la Universidad Distrital.

.

Capítulo 1

Conceptos Físicos en las Teorías Sobre el Origen del Sistema Solar

Los estudios y explicaciones sobre el Origen del Sistema Solar son importantes en el contexto educativo, ya que este fenómeno no se difunde y se tiende a confundir con el Origen del Universo (Big Bang). Fenómenos que se han modelado en los cuales se evidencia que han ocurrido en tiempos diferentes. Los dos modelos de formación más difundidos del Sistema Solar es la Teoría Catastrófica y la Teoría Nebular, aclarando que existen otras teorías como: (*Teoría Kuiper, Teoría de Chamberlin, Teoría de Safronov, Teoría de Alfvén, Teoría de Camerón*) las cuales hablan de este origen pero solo la Nebular está dotada de evidencias observacionales, como la identificación de otros Sistemas Solares y exoplanetas. Por lo tanto la Teoría Nebular y Catastrófica ha dado explicaciones distintas de este hecho, pero que finalmente llegan a una misma conclusión que es el proceso evolutivo de una estrella y finalmente se llega a la formación planetaria. Esto nos permite preguntar *¿Cómo se Originó el Sistema Solar?* y cuál de estas teorías se reconoce como la más relevante para este proceso evolutivo.

La Radio Astronomía y la mejora de los Telescopios Ópticos ha generado nuevos conocimientos sobre el Universo los cuales posibilitan llegar a una solución del gran problema del Origen del Sistema Solar, para entender esta posible solución se deben involucrar conceptos físicos tales como: Energía, Orbitas Coplanares, Interacción Gravitacional, Leyes de Kepler, Momento Angular y Campo Magnético así como las propiedades Químicas y Dinámicas.

1.1 Piezas y Modelos del Sistema Solar

Estamos seguros de que la formación de la Tierra se dió hace aproximadamente 4.500 millones de años valor que se determina a partir de cantidades observadas de los elementos de isótopos de larga vida de Uranio y Torio presentes en rocas de la Tierra y de la Luna (Ross, 2000). La edad del Universo el tiempo que ha transcurrido después de la gran explosión aun se discute y las estimaciones varían según el modelo cosmológico desde los 12.000 hasta los 18.000 mil millones de años. Existen evidencias de que el Universo tiene

más de 10.000 millones de años en particular por la presencia de Uranio y Torio en las gigantes rojas. De modo que la edad del Universo es mucho mayor que la del Sistema Solar siendo este más joven que el Universo.

Siendo así la dinámica y las propiedades químicas del Sistema Solar imponen limitaciones cruciales sobre algún modelo de su formación. Estas características sirven para generar preguntas específicas más amplias.

- **Materiales en el Sistema Solar (Química)**

El Sistema Solar contiene tres materiales: materiales gaseosos, rocosos y de hielo en donde cada grupo es distinguido por su metalicidad. Los materiales gaseosos y de hielo algunas veces llamados volátiles compartían el estado gaseoso bajo ciertas condiciones durante la formación del Sistema Solar. Los cuerpos del Sistema Solar son compuestos de varias combinaciones de estos tres grupos. En algunos casos una clase de estos materiales puede ser mayor o dominar en algún cuerpo del Sistema Solar. Por ejemplo el Sol contiene principalmente materiales gaseosos, los planetas terrestres y los asteroides son principalmente de metales y rocas; Júpiter y Saturno son principalmente de gas; Urano, Neptuno, Plutón y Charon, y cometas principalmente de hielo.

- **Características Dinámicas**

Dinámicamente el Sistema Solar presenta una estructura regular en términos de su movimiento, de tal manera presenta las siguientes regularidades:

1. Los planetas orbitan alrededor del Sol en contra de las manecillas del Reloj; el Sol rota en una misma dirección.
2. La mayoría de los planetas excepto Mercurio y Plutón tienen orbitas planas llamadas coplanares.
3. Excepto Mercurio y Plutón los planetas se mueven en orbitas casi circulares.
4. Excepto en Venus, Uranio y Plutón los planetas rotan en el mismo sentido de su movimiento orbital.
5. La distancia de las orbitas de los planetas tienen un espaciamiento regular.
6. La mayoría de los satélites revolucionan en la misma dirección de sus planetas parientes y orbitan a estos definiendo su ecuador.
7. Los planetas juntos contienen más momento angular que el Sol.

8. Para largos periodos los cometas tienen orbitas que llegan de todas las direcciones y ángulos en comparación con la órbita Coplanar de los planetas.
9. Todos los planetas jovianos son conocidos por tener anillos.

1.2 Modelos del Origen del Sistema Solar

1.2.1 Teoría Catastrófica

La teoría catastrofista sobre el origen del Sistema Solar debida a Georges Louis Leclerc, conde de Buffon 1707, establecía que los planetas se originaron como consecuencia del violento choque de un cometa con el Sol (Corral,1997). Esta colisión expulsó materia en donde otra parte de ella quedó atrapada por la atracción Solar. Así comenzó a girar rápidamente y su material se disperso y empezó aglomerarse unos a otros hasta que fueron adquiriendo una forma esférica.

Esta teoría partió de un hecho equivocado: hablar de la existencia de una estrella en dimensiones mayores a los planetas. En realidad las estrellas tienen masas despreciables comparadas con aquellos, razón por la cual un choque de estrellas no podría haber perturbado al Sol, como Buffon suponía. Sin embargo esta teoría dio la primera idea de dar explicaciones sobre el Origen del Sistema Solar en donde se tomaron en cuenta verdaderamente aspectos científicos de este problema.

1.2.2 Teoría Nebular

En el año 1796 Laplace dio a conocer la hipótesis de la Teoría Nebular Primitiva en donde el trato de explicar la formación del Sistema Solar. Laplace para evitar los problemas dinámicos de Kant, postulo que la nebulosa se encontraba activa por un lento movimiento que la tenía en rotación (Corral, 1997).

Tomando los estudios observacionales, este astrónomo analizó teóricamente muy rigurosamente de que la nebulosa tenía un papel muy importante en el proceso de desarrollo y era su modelo a las fuerzas de fricción, atracción gravitatoria y a la centrifugación ocasionada por la rotación. Siendo así este modelo tuvo una gran aceptación, manteniéndose todavía activa.

La Nebulosa con el paso del tiempo se fue condensando por la fuerza Gravitatoria generada por su propia masa y había una atracción de partículas hacia su centro, lo que a un largo plazo ocasiono en la nebulosa una esfera teniendo presente que en el centro de ella había algo bien definido. Después de ello se empezó a formar el Sol, por medio de un proceso de contracción, en donde fue aumentando su velocidad de rotación llegando así a un desequilibrio entre fuerzas de atracción Gravitacional y la fuerza centrífuga debido a la rotación de la materia. El equilibrio de estas fuerzas dio origen en la parte externa de la Nebulosa formación de un anillo gaseoso que independientemente siguió rotando con la misma dirección y rotación que tenía la masa central.

Este fenómeno se repitió varias veces y dio origen a otro anillo. Este proceso se detuvo cuando termino la contracción que dio el Origen del Sol. Estos anillos localizados en un plano ecuatorial fueron quedando a ciertas distancias entre ellos, ocasionando entre ellos tamaños y formas de esferas que siguieron girando en el cuerpo central. Finalmente propició la formación de un planeta.

Kant (1764) y Laplace (1796) con sus teorías sobre el Origen del Sistema Solar llegaron a un punto donde se complementaron pero fueron elaboradas independientemente pero intentaron explicar los mismos hechos observacionales partiendo los dos desde las leyes de la Mecánica. En algunos años se acepto que el Origen del Sistema Solar surgió por la contracción y fragmentación de un disco por lo cual esta explicación fue conocida por la Nebulosa Primitiva de Kant-Laplace.

En la actualidad todavía no se encuentra una teoría que explique satisfactoriamente el Origen del Sistema Solar. Es un problema que sigue vigente y seguramente se irán encontrando datos novedosos sobre el Sistema Planetario y sus estrellas.

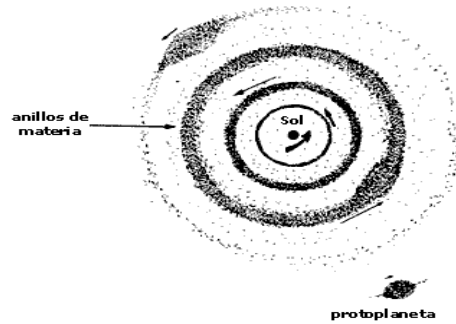


Figura 4. Representación de la Teoría Nebular Kant-Laplace
http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/155/htm/sec_11.htm

1.2.3 Base de los Modelos Nebulares

Un cuidadoso modelo puede explicar cómo alguna de las propiedades químicas y dinámicas puede ser posible. Este puede contener una gran lista de características que se convierte en el principal requerimiento de cualquier modelo.

El Sol contiene mucha de la masa del Sistema Solar 99,9% el resto conforma los planetas del Sistema Solar, también el modelo debe describir las regularidades dinámicas y químicas tanto de los planetas como de los cometas, asteroides y meteoritos, puesto que estos podrían ser clave en la reconstrucción del Origen del Sistema Solar.

Muchos modelos que encontramos hoy son variaciones del modelo Nebular, en el cual se considera la condensación del Sol a partir de una nube de gas y polvo interestelar que también formó un disco externo a la nebulosa en el cual se condensaron los planetas. El modelo Nebular presenta una visión del Sistema Solar como un remanente de la formación del Sol. Si el modelo Nebular es correcto los Sistemas Planetarios serán muy comunes en nuestra galaxia.

El Sol representa casi toda la masa del Sistema Solar. ¿También tendrá todo el momento Angular?

La característica esencial del Modelo Nebular se basa en que el Sol y los planetas se formaron de una nube de material interestelar. La formación del Sol se dio en el Centro de la Nube y los planetas se generaron en un disco alrededor de la estrella.

Nosotros conocemos que el Sistema Solar es ahora básicamente plano con el Sol en el centro. Los anillos de los planetas Jovianos son planos y consisten de pequeñas partículas extraídas de sus planetas parientes.

1.3 Momento Angular

Para abordar el problema de generar un Sistema Solar plano se considera una idea física básica *la conservación del Momento Angular*. El momento lineal es una cantidad vectorial que se define como el producto de la masa del objeto por su velocidad la ecuación que describe el momento lineal es:

$$P = m v \quad (1.1)$$

Se comenzará por explicar la segunda ley de Kepler para señalar en pocas palabras la conservación del Momento Angular lo cual es consecuencia de que la fuerza de gravedad corresponde a una fuerza central.

Si pensamos en un planeta el tiene dos momentos de traslación y rotación. Para el concepto de rotación aparece el momento angular, en donde tiene un carácter vectorial donde r es la posición y p momento.

Siendo así se describe la ecuación del Momento Angular de la siguiente forma:

$$L = r x p \quad (1.2)$$

En donde r : Posición y p : Momento.

Ahora reemplazamos de la ecuación (1.1) el Momento Lineal en la ecuación (1.2) quedando de la siguiente forma

$$L = r \times m v \quad (1.3)$$

Si se describe el movimiento de un planeta en una órbita se puede decir dónde está el planeta si se tiene un ángulo y el radio entonces eso se hace necesario tener un sistema de coordenadas adecuado, y es el sistema de coordenadas polar.

Lo que se quiere hacer y demostrar es que los planetas orbitan en un solo plano, ahora vamos a pasar de coordenadas cartesianas a coordenadas polares para hacer la transformación.

Decimos que la ecuación de un círculo es:

$$r^2 = x^2 + y^2$$

$$\tan\theta = \frac{x}{y} \quad (1.4)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{y}{x} \tag{1.5}$$

Y así podemos decir que se pasa de coordenadas cartesianas a coordenadas polares.

Ahora vamos a mirar la velocidad en coordenadas polares.

$$v = \frac{d}{dt} (r \hat{r})$$

Y decimos que

$$r = r \cdot \hat{r} \tag{1.6}$$

Ahora derivamos v

$$v = \dot{r} \hat{r} + r \frac{d\hat{r}}{dt} \tag{1.7}$$

Y obtenemos como resultado que v y r quedan de la siguiente manera:

$$v = \dot{r} \hat{r} + r \dot{\theta} \hat{\theta}$$

$$r = r \hat{r} + r \dot{\theta} \hat{\theta}$$

Decimos que el momento angular es:

$$L = r \times p$$

Y reemplazamos en la ecuación para obtener L :

$$L = r \times m (\dot{r} \hat{r} + r \dot{\theta} \hat{\theta})$$

$$L = m r^2 \dot{\theta} \hat{\theta} \tag{1.8}$$

Ahora mirando que el momento angular es

$$L = m r^2 \dot{\theta}$$

Entonces vamos a deducir porque el momento angular del Sistema es constante.

Decimos que el área de un triangulo rectángulo es

$$A = \frac{1}{2} (r + \Delta r) \Delta \theta$$

Ahora derivamos con respecto a $\frac{\Delta A}{\Delta t}$ quedando de la siguiente forma

$$\frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{1}{2} r \frac{\Delta \theta}{\Delta t} + \frac{1}{2} \frac{\Delta r}{\Delta t} \Delta \theta$$

Solucionando los límites queda

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta A}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{2} r \frac{\Delta \theta}{\Delta t} + \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{2} \frac{\Delta r}{\Delta t} \Delta \theta$$

$$\frac{dA}{dt} = \frac{1}{2} r \frac{d\theta}{dt} = \frac{1}{2} r \dot{\theta} \quad (1.9)$$

Se deduce que

$$\begin{aligned} \frac{dA}{dt} &= \frac{1}{2} r \dot{\theta} \frac{r m}{r m} \\ \frac{dA}{dt} &= \frac{1}{2} \frac{\theta r^2 m}{m r} \end{aligned} \quad (1.10)$$

De la ecuación (1.8) reemplazamos en la ecuación (1.10) quedando de la siguiente forma

$$\frac{dA}{dt} = \frac{1}{2} \frac{L_z}{m r}$$

Diciendo que el Momento Angular de la nebulosa del disco es

$$L = m r^2 \dot{\theta} \quad (1.11)$$

Y el Momento Angular del Sistema es

$$\frac{dA}{dt} = \frac{1}{2} \frac{L_z}{m r} \quad (1.12)$$

Especificando que

$$\frac{dA}{dt} = \text{Constante } 2^{\circ} \text{ Ley de Kepler.}$$

$L_z = \text{Constante, es donde los objetos se mueven en un solo plano.}$

$m = \text{Masa reducida de la masa de los dos cuerpos.}$

El hecho que el Momento Angular sea constante significa que los planetas están confinados en un mismo plano ya que según la formación de la Nebulosa hizo que en ella se creara un disco de gas y polvo. Según ese proceso para mantener el Momento Angular la velocidad de rotación aumenta y esto hace que haya formación de planetas rocosos y gaseosos en donde todos estarán confinados en un mismo plano menos Plutón ya que su órbita no está confinada en la misma de los demás planetas.

1.4 Segunda Ley de Kepler

La place (1748-1827) tuvo en cuenta la *rotación* planetaria para formula su hipótesis de formación del Sistema Solar a partir de una Nebulosa en *rotación*, es por esto que se hace importante modelar y describir las orbitas y rotación de los planetas y de paso introducir y revisar conceptos físicos importantes. Se sabe que los planetas tienen componentes de energía de traslación y *rotación*, desde las cuales se puede modelar las trayectorias

elípticas en el sistema. Decimos que la energía se define de la siguiente manera en coordenadas polares:

$$E = \frac{1}{2}\mu r^2 + \frac{1}{2} r^2 \mu \theta^2 + V(r) \quad (1.13)$$

Recordando

$$\begin{aligned} L &= m r^2 \dot{\theta} \\ L^2 &= m^2 r^4 \dot{\theta}^2 \\ \frac{1}{2} \mu \dot{\theta}^2 &= \frac{1}{2} \frac{\mu^2 \dot{\theta}^2 r^4}{\mu r^4} \end{aligned}$$

Para la energía:

$$\frac{1}{2} \mu \dot{\theta}^2 = \frac{1}{2} \frac{L^2}{\mu r^4} r^2 = \frac{1}{2} \frac{L^2}{\mu r^2} \quad (1.14)$$

Ahora definimos el potencial efectivo de la siguiente manera:

$$E = \frac{1}{2} \mu r^2 + \frac{1}{2} \frac{L^2}{\mu r^2} + V(r)$$

Llamaremos al potencial efectivo

$$\frac{1}{2} \frac{L^2}{\mu r^2} + V(r) = V_{eff} \quad (1.15)$$

La variación de r en el tiempo desde la ecuación de energía

$$\begin{aligned} r &= \frac{2(E - V_{eff})}{\mu} \\ \frac{dr}{dt} &= \frac{2(E - V_{eff})}{\mu} \\ \frac{dr}{\frac{2(E - V_{eff})}{\mu}} & \end{aligned} \quad (1.16)$$

$$\begin{aligned} & \int_{r_0}^r dt = t_2 - t_1 \\ d\theta &= \frac{L}{\mu r^2} dt = \theta_2 - \theta_1 \end{aligned} \quad (1.17)$$

Solucionando la integral (1.17) llegamos a la conclusión de porque los planetas están confinados en un mismo plano y como están orbitando alrededor del Sol de la ecuación (1.18) deduciremos este proceso.

Tenemos que

$$\theta_1 - \theta_2 = l \frac{dr}{r(2\mu E r^2 + 2\mu C r - l^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (1.18)$$

Al integrar tenemos lo siguiente

$$\theta_1 - \theta_2 = \arcsin\left(\frac{\mu C r - l^2}{r \sqrt{\mu^2 C^2 + 2\mu E l^2}}\right) \quad (1.19)$$

Distribuyendo tenemos lo siguiente

$$\sin \theta_1 - \theta_2 = \sin \arcsin\left(\frac{\mu C r - l^2}{r \sqrt{\mu^2 C^2 + 2\mu E l^2}}\right)$$

Cancelando obtenemos lo siguiente

$$\sin \theta_1 - \theta_2 = \frac{\mu C r - l^2}{r \sqrt{\mu^2 C^2 + 2\mu E l^2}} \quad (1.20)$$

De la ecuación (1.21) despejamos y tenemos

$$r \sqrt{\mu^2 C^2 + 2\mu E l^2} \cdot \sin \theta_1 - \theta_2 - \mu C r = l^2$$

Ahora dividimos

$$r = \frac{\frac{l^2}{\mu C}}{\frac{\mu C}{\mu C} - \frac{\mu^2 C^2 + 2\mu E l^2}{\mu C}} \frac{\sin(\theta_1 - \theta_2)}{\mu C} \quad (1.21)$$

$$r = \frac{\frac{l^2}{\mu C}}{1 - \frac{\mu^2 C^2 + 2\mu E l^2}{\mu^2 C^2 + \mu^2 C^2}} \sin(\theta_1 - \theta_2) \quad (1.22)$$

$$r = \frac{\frac{l^2}{\mu C}}{1 - 1 + \frac{2E l^2}{\mu C^2}} \sin(\theta_1 - \theta_2) \quad (1.23)$$

Decimos que $r = \frac{l^2}{\mu C}$ y $\varepsilon = \frac{2E l^2}{\mu C^2}$, reemplazamos en la ecuación (1.24) quedando

$$r = \frac{r}{1 - \varepsilon \sin(\theta_1 - \theta_2)} \quad (1.24)$$

Siendo así este resultado será interpretado en formas polares para mirar como es el comportamiento orbital de los planetas.

Recordando la relación en coordenadas polares

$$\begin{aligned} x &= r \cos \theta \\ y &= r \sin \theta \\ r &= \sqrt{x^2 + y^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r - r \varepsilon \cos \theta &= r_0 \\ \sqrt{x^2 + y^2} - \varepsilon x &= r_0 \end{aligned}$$

$$(\sqrt{x^2 + y^2} - r_0)^2 = (\varepsilon x)^2 \tag{1.25}$$

$$\begin{aligned} x^2 + y^2 - 2\sqrt{x^2 + y^2}r_0 + r_0^2 &= \varepsilon^2 x^2 \\ x^2 - \varepsilon^2 x^2 + y^2 - 2r_0\sqrt{x^2 + y^2} + r_0^2 &= 0 \\ x^2 - \varepsilon^2 x^2 + y^2 - 2r_0\sqrt{x^2 + y^2} &= -r_0^2 \\ x^2 - \varepsilon^2 x^2 + y^2 - 2r_0r_0 + \varepsilon x &= -r_0^2 \\ x^2(1 - \varepsilon^2) + y^2 - 2r_0^2 - 2r_0x\varepsilon &= -r_0^2 \end{aligned}$$

Llegando a la ecuación

$$x^2(1 - \varepsilon^2) + y^2 - 2r_0x\varepsilon = r_0^2 \tag{1.26}$$

Si interpretamos la ecuación (1.26) para valores en la excentricidad como $\varepsilon = 0$, se llega a la ecuación de un círculo $x^2 + y^2 = r_0^2$, la cual caracteriza una trayectoria no excéntrica (Circular)

Para $\varepsilon > 1$ entonces la ecuación nos quedaría de la siguiente manera $AX^2 - BX + y^2 = r_0^2$ en donde despejando nos quedaría la ecuación de una hipérbola.

$$Y^2 - AX^2 - BX = r_0^2 \tag{1.27}$$

Si decimos que $\varepsilon = 1$ la ecuación nos quedaría de la siguiente manera

$$y^2 - 2r_0 \varepsilon x = r_0^2 \tag{1.28}$$

Si nosotros despejamos esta ecuación nos daría la ecuación de una parábola, quedando de la siguiente manera

$$\begin{aligned} y^2 - 2r_0x &= r_0^2 \\ 2r_0x &= y^2 - r_0^2 \\ x &= \frac{y^2}{2r_0} - \frac{r_0^2}{2r_0} \end{aligned}$$

Llegando a la ecuación de la parábola

$$x = \frac{y^2}{2r_0} - \frac{r_0}{2} \quad (1.29)$$

Si decimos que $0 \leq \varepsilon < 1$ la ecuación queda de la siguiente forma

$$Y^2 + AX^2 - BX = Constante \quad (1.30)$$

Es una órbita Elíptica.

Nuestro interés es el caso de orbitales elípticas que se describen a partir de la ecuación (1.30). En este punto es importante resaltar que las propiedades físicas como la energía están relacionadas con la excentricidad o tipo de trayectoria y el valor del semieje mayor en la trayectoria electica.

1. 5 Aporte desde la Magnetohidrodinámica

La magnetohidrodinamica se encarga de modelar sistemas físicos y Astrofísicos que involucrar campos magnéticos, su ecuación fundamental de inducción magnetohidrodinamica se desprende de las ecuaciones de Maxwell. Las variables electromagnéticas se suponen medidas en unidades electromagnéticas. Entonces, si \mathbf{J} es la densidad de la corriente y \mathbf{H} es la intensidad de campo magnético tenemos las ecuaciones de Maxwell

$$\nabla \times \mathbf{H} = 4\pi\mathbf{J} \quad (1.31)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{J} = 0 \quad (1.32)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\mu \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \quad (1.33)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{H} = 0 \quad (1.34)$$

Si \mathbf{v} es la velocidad del medio, este está sometido al campo eléctrico $\mathbf{E} + \mu \mathbf{v} \times \mathbf{H}$ si σ es la conductividad eléctrica quedaría de la siguiente forma

$$\mathbf{J} = \sigma(\mathbf{E} + \mu \mathbf{v} \times \mathbf{H}) \quad (1.35)$$

$$\sigma \mathbf{E} = \mathbf{J} - \sigma \mu \mathbf{v} \times \mathbf{H}$$

Aplicando en rotacional

$$\begin{aligned}\nabla \times \sigma E &= \nabla \times (J - \sigma \mu v \times H) \\ \nabla \times E &= \frac{\nabla \times J}{\sigma} - \nabla \times (\mu v \times H)\end{aligned}\quad (1.36)$$

Reemplazando en la ecuación (1.36)

$$\begin{aligned}-\mu \frac{\partial H}{\partial t} &= \frac{\nabla \times \nabla \times H}{\sigma} - \nabla \times (\mu v \times H) \\ -\mu_0 \frac{\partial H}{\partial t} &= -\frac{\nabla^2 H}{\sigma 4\pi} + \frac{\nabla \cdot H}{\sigma 4\pi} - \nabla \times \mu (v \times H)\end{aligned}\quad (1.37)$$

Ahora dividimos por μ

$$\frac{\mu}{\mu} \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\nabla^2 H}{\mu \sigma 4\pi} + \nabla \times \frac{\mu}{\mu} (v \times H)$$

Para el caso $\eta = \frac{1}{4\pi\mu\sigma}$ la ecuación queda de la siguiente forma

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \nabla \times v \times H + \eta \nabla^2 H \quad (1.38)$$

La ecuación (1.38) es una ecuación de difusión. En ella se puede ver que es una ecuación diferencial de segundo orden con dos variables (v, H) , para el caso estático que la $v = 0$

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \eta \nabla^2 H \quad (1.39)$$

Se realiza un análisis empleando el método dimensional

$$\frac{\partial}{\partial t} H = \eta \nabla^2 H$$

Aclarando que $\frac{\partial}{\partial t} = \frac{1}{\tau}$ y $\nabla^2 = \frac{\partial}{\partial r^2} = \frac{1}{L^2}$

$$\frac{1}{\tau} = \eta \frac{1}{L^2} \quad (1.40)$$

Despejando τ la ecuación queda de la siguiente forma

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{L^2}{\eta} = L^2 4\pi\mu\sigma \\ \tau &= L^2 4\pi\mu\sigma\end{aligned}\quad (1.41)$$

En donde μ es la Permitividad Magnética y σ es la conductividad y L es la longitud comparable con la dimensión de la región en que circula la corriente, este método permite

estimar la edad del sistema solar a partir del tiempo de cambio del campo magnético del sol al relacionar su conductividad σ , dejando de lado los procesos propios de la física nuclear (Cowling, 1968).

1.6 La crítica y nuestra hipótesis

Los modelos de origen del sistema solar plantean una nebulosa inicialmente en rotación pero ninguno justifica por qué se produce su rotación, nosotros planteamos la siguiente hipótesis.

Lo que inicia la rotación de la nebulosa primordial es un campo magnético presente en el espacio tiempo debido a la densidad de energía magnética en el Universo si hubiera equipartición entre esta y la radiación de fondo a 2.7 K (Battaner, 2001).

La densidad de energía de la radiación de fondo, por tratarse de un cuerpo negro es

$$\epsilon_{\gamma} = aT^4 = 7,56 \times 10^{-15} \text{erg cm}^{-3} \text{K}^{-4} \times 2,7^4 \text{K}^4 = 4 \times 10^{-3} \text{erg cm}^{-3}$$

La densidad de la energía magnética se calcula mediante

$$\frac{B^2}{8\pi}$$

Si hay equipartición

$$\epsilon_B = \epsilon_{\gamma} = 4 \times 10^{-3} = \frac{B^2}{8\pi}$$

Luego

$$B \sim 3 \times 10^{-6} \text{G} \quad (1.42)$$

Este campo magnético prende el proceso de rotación y será un componente fundamental en la analogía que se plantea con el motor magnetohidrodinámico. Se debe tener en cuenta que el origen del sistema solar es muy posterior a la generación de la radiación cósmica de fondo como se muestra en la siguiente figura.

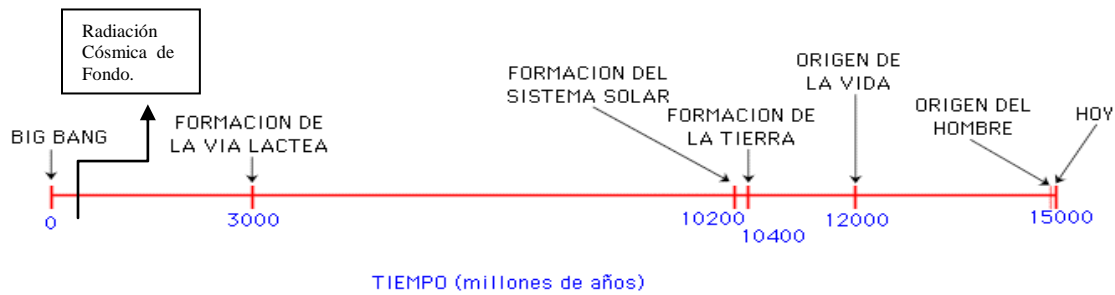


Figura 5. Línea de Tiempo desde el Big Bang, http://home.earthlink.net/~astronomia/ /Main/T_bluedot.html

Con este capítulo resaltamos de porque es importante estudiar el Origen del Sistema Solar, en donde se muestra que con el Momento Angular se ve explicito de que en el momento que la nube de gas y polvo empezó a rotar en ese instante su *Momento Angular* es constante, cuando ya hubo formación planetaria se mostro que los planetas que conforman el Sistema Solar están confinados en un mismo plano.

Otro proceso que se llevo en este capítulo fue mirar la segunda ley de Kepler el cual se muestra como es el comportamiento elíptico de un planeta, siendo así con este cálculo se quiere llegar por medio de Laplace porque es relevante estudiar las orbitas planetarias.

Mirando estos cálculos físicos que nos ayudan a entender de porque es importante el Origen del Sistema Solar y porque es significativo estas herramientas físicas hay otra carácter físico que involucra este desarrollo que es la Magnetohidrodinamica, también da unos aportes importantes, en donde con la ecuación (1.14) nos permite estimar la edad del Sistema Solar a partir del tiempo del cambio magnético del Sol al relacionar su conductividad dejando de lado los proceso de la Física Nuclear.

Y finalizando la crítica y nuestra hipótesis es muy importante en este capítulo ya que nos surge como idea que en el momento que la Nebulosa está en rotación, decimos que es por medio de la radiación cósmica de fondo producida por el Big Bang sabiendo que el campo que está en el espacio debido a una distribución magnética no es el campo de la Nebulosa si no del espacio debido por la radiación cósmica de fondo.

Capítulo 2

Procesos y características iniciales en la formación del Sistema Solar

Se plantea una serie de eventos donde inicialmente el Planeta más próximo al Sol, Mercurio fue un fragmento que nació en el seno de la materia ardiente, la Tierra nació de una materia tibia cuya temperatura ascendió durante su crecimiento, generando un calentamiento en el sol por colapso gravitatorio. Los planetas lejanos, nacidos en una materia fría, permanecieron fríos durante mucho tiempo, calentándose en una etapa tardía después de adquirir un tamaño indicado. Finalmente, los satélites de los planetas lejanos nacieron de una materia fría en un ambiente frío y relativamente pobre por lo que la gravitación no podía provocar un recalentamiento en donde dichos astros nacieron completamente. Pueden surgir preguntas como: *¿Qué hubiera sucedido si Júpiter hubiese capturado vía gravitacional cantidades de materia mayores* (Ducrocq, 1967).

2.1 Los Sistemas Planetarios y sus Estrellas

Una de las ideas en la formación planetaria se debe a un proceso crítico en donde se tiene en cuenta que nuestro Sistema Solar fue producto de dos factores: Una Nube de materia (Gas y Polvo).

En la formación de nuestro Sol intervino un proceso de condensación de gases separados de densas nubes de gas y polvo. Cuando el gas se contrae por la fuerza de la gravedad para formar la estrella, las temperaturas y presiones aumentan hasta los niveles a los que prenden el centro nuclear y el Hidrogeno empieza a transformarse en Helio. La

importancia y la composición de las nubes de materia que rodean la estrella pudieron variar y en grandes proporciones originando situaciones muy diversas. Se piensa que el disco que se formó en la estrella contenía muy ricos e importantes elementos los cuales hizo engendrar unos planetas alrededor de la estrella.

2.1.2 El disco puede general estrellas o planetas

Al considerar el disco que rodea la estrella en este se puede dar la formación de Estrellas o planetas pero no existe un línea continua que demarque el proceso de estrella a planeta.

Las estrellas son más simples que los planetas al menos desde el punto de vista de un científico planetario. El desarrollo de las estrellas puede estudiarse durante la mayor parte de sus estadios evolutivos. Pero los Planetas vienen de un proceso evolutivo entre la interacción estrella-disco.

Nuestro Sol es una estrella pero es distinta a las que conforman el Universo, si hablamos de una estrella normal ella necesita contar con una masa 80 veces superior a la de Júpiter para que las presiones y las temperaturas centrales lleguen a prender el horno nuclear. El Sol, es indistinguible, posee una masa 1000 veces mayor que la de Júpiter y como puede apreciarse emite un brillo óptimo.

2.2 Una Estrella y su Disco

Antiguamente los astrónomos desconocían el análisis y el descubrimiento interestelar, y en el cielo solo veían las estrellas en el vacío. Siendo así para explicar este proceso celeste que dio viabilidad para explicar los planetas permitió descubrir la materia que había en la cercanía del sol.

En la actualidad han existido teorías de un cierto modo opuesto a lo que se ha venido afirmando e indagando al presente. Se saben que las estrellas han sido formadas por gas y un polvo cósmico lo cual nace una nebulosa en el centro de ella, durante su formación por atracciones gravitatorias se atrajo materia esparcida por el Universo. Cuando se inicia una reacción termonuclear en la estrella, la materia no admitida queda apartada en forma de nube y ella hace que la nube de gas y polvo achate las regiones ecuatoriales de la estrella. Hay una fuerza centrífuga donde estabiliza la materia y por medio de su gravitación la estrella atrae hacia sus regiones, donde toda esa energía la expulsa por el ecuador.

Kant (1764) y Laplace (1796) estos pensadores decían que el sistema solar es una masa gaseosa de grandes dimensiones en donde tenía un cuerpo circular en el momento de la rotación, siendo así la masa condensa anillos en donde allí nacieron los planetas, mientras el sol se iba desarrollando en la región del centro de la nebulosa.

2.2.1 Acoplamiento Magnético

Se puede evidenciar un retorno a las ideas de Kan y Laplace a los cuales se les refutaba el manejo de la conservación del momento angular puesto que el sol debería girar más rápido generándose una explicación posterior, desde la mecánica clásica una rotación en el vacío se conserva indefinidamente, para este caso como se mostró en la hipótesis representada en la ecuación (1.41), el momento angular no se conservaría indefinidamente debido a la presencia de un Campo Magnético se podría preguntar o validar nuestra hipótesis a partir de la siguiente pregunta ¿Todas las Nebulosas están girando?.

2.2.2 Influencia de algo en Particular

La presencia de la materia alrededor de las estrellas deben, considerarse como un fenómeno de carácter general y su constitución en el disco es lógica: la acción centrifugadora del ecuador estelar está ayudada por la presión de radiación creada por el astro (Ducrocq, 1967). Los objetos que contienen el Sistema Solar los cuales gravitaban en diversos planos han sido destruidos por la materia que contenía el disco.

2.3 Creación de los Planetas

El disco formado alrededor de las estrellas están compuestos de elementos pequeños, se consideró que por medio de atracción gravitatoria entre ese polvo hubo formación planetaria, sabiendo que los planetas más cerca al Sol son los rocosos y los externos son los gaseosos.

No solamente se tendría solo la formación de la estrella si no que también en ella se formó un disco cuyo movimiento no era el de un cuerpo sólido, en el lenguaje de los Astrónomos se puede decir que su rotación era Kepleriana que hoy en día son las leyes que rigen el movimiento planetario, después de esto se vio el nacimiento de los planetas que por efectos gravitatorios y rotacionales generó la formación de ellos.

Por lo tanto al transcurrir en el tiempo se efectuó un proceso de regulación en donde la órbita circular termina siendo la trayectoria privilegiada en el seno del disco planetario.

2.3.1 Rotación Planetaria

El sentido de rotación planetaria siempre resultará intrigante en el Sistema Solar, esto quiere decir que el polvo cósmico que se extendía en interior de la órbita del protoplaneta era más rápido que el que se encontraba en la parte exterior de dicha órbita. Se tiene en cuenta que el disco gira en sentido directo pero parece que la rotación hubiera tenido un sentido retrógrado. Según Schmidt 1963 demostró las colisiones inelásticas, asigna la rotación de un sentido probable del mismo signo que el movimiento vertical (Ducrocq, 1967).

2.3.2 La ley de Titius-Bode

En la actualidad el Sistema Solar posee en la actualidad nueve planetas principales. Pero este número se interpreta haciendo una división del disco primitivo, según la ley de Titius-Bode cada uno de ellos parte de una velocidad determinada y teniendo en cuenta la velocidad circular depende de la distancia, esta ley debió gobernar la separación de los planetas.

Después de preguntarse mucho tiempo si se trataba de una ley o una simple coincidencia los astrónomos se plantearon el problema de manera distinta si la relación de esa ley no sería precisamente la ley reveladora de la división del disco planetario impuesto por el Sistema Solar de acreción. Schmidt emprendió un estudio matemático de esta cuestión poniendo una relación entre dicha ley división y la distribución de la materia del disco primitivo. Siendo así se puede hallar una posible distribución que explique la ley de Titius-Bode. El caculo de Schmidt es el siguiente: *Observo que las raíces cuadradas de las distancias al Sol debería formar una progresión aritmética lo cual equivale a decir que, para correr distancias iguales en sus orbitas respectivas, los planetas invertirían unos tiempos que aumentarían también de manera regular*” (Ducrocq, 1968 Pag. 209) esto ayudo a los astrónomos de la época a mirar las distancias que se encontraban por separado los planetas y a mirar las masas de cada uno de ellos.

2.3.3 Protoplanetas á Planetas

¿Cuál es su estructura y en que medio evolucionaron?

Las estrellas no se limitan a tener un disco encobijado, si no que se somete a una gigantesca destilación que actúa de manera selectiva para alejar al Sol de los objetos más ligeros. Por lo tanto hay que tener en cuenta las colisiones, las leyes de choques indican que en una región donde haya multitud de encuentro de las energías de los elementos mostrarán tendencia a uniformarse.

El campo gravitatorio tiene una propiedad característica en donde se dice que las trayectorias balísticas de los cuerpos son independientes de su masa, siendo así para describir una misma orbita deben hallarse animados de idéntica velocidad. Pero la mecánica de las colisiones se opone a esta igualdad. La destilación gravitatoria en el disco planetario en donde allí se acumulan los productos pesados en las proximidades, dando un rechazo a gran distancia los elementos ligeros.

Según esto el disco protoplanetarios a una temperatura ambiente en donde es difícil asignar valores a la temperatura, pues ella depende de unas características físicas. Si pasamos revista a los elementos que más abundan en un disco de hidrógeno enriquecido se pueden definir con las siguientes características:

- *El hidrógeno se une esencialmente con el Oxígeno (agua), el Nitrógeno (amoníaco) y el Carbono (metano).*
- *El Oxígeno se combina con la mayoría de elementos especialmente el Magnesio, el Silicio y el Aluminio con los que engendra óxidos Metálicos.*
- *Exceptuando su unión con el Hidrógeno, el Nitrógeno presenta pocas afinidades.*
- *El Helio y el Neón son dos gases inertes que no entran en ninguna combinación (Ducrocq, 1968).*

2.3.4 El papel de la Gravitación

Los protoplanetas, al aumentar el volumen adquirirán un poder gravitacional, que modificarán sus condiciones de evolución (Ducrocq, 1968) si se analiza el punto del nacimiento de la estrella, un aumento de la masa se traduce por un aumento de poder gravitacional que a su vez tiene por consecuencia una acentuación de captación de materia. El planeta si es aun fértil, es decir si todavía posee material de gas y polvo es ahí donde se inicia una nueva fase de crecimiento en el planeta, y ese proceso será un poco brusco y dotará de atmósfera a los planetas llegados a esta etapa.

Por lo tanto se produce una doble selección con la naturaleza de los gases y la temperatura, el cual demarcará en dos grupos de planetas: rocosos y gaseosos.

2.3.5 Planetas: Gaseosos y Rocosos

Los planetas que están ubicados más próximos al Sol evolucionaron en una región cálida, en donde se permitió conservar los gases ligeros. El primer planeta que se formó en una región estrecha en la que prácticamente no podría retener ningún gas es Mercurio, fue el planeta sin atmósfera permanente del Sistema Solar y su estructura es característica, pues se trata de un planeta pequeño y de gran densidad como lo aclara (Ducrocq, 1968) especificando que hay tres planetas que viene a continuación que son densos y se encuentran rodeado por una atmosfera: Venus, Tierra, Marte.

En el caso de los planetas más lejanos el proceso de acreción origino únicamente núcleos en donde la medición del Momento Angular revela la presencia de núcleos densos en el interior de estos astros, pero al contraerse hubo una retroacción en donde los gases del se acumularon alrededor de estos núcleos llevando el mecanismo del crecimiento de una estrella.

2.3.6 La Temperatura de los Planetas

En el disco primitivo sobresalía las Temperaturas de ambiente el cual dependía de la distancia del Sol, pero cuando los protoplanetas entraron en formación cambio su temperatura de colisión en donde los componentes se hicieron más pesados y su Energía Cinética se convirtió en Energía Calorífica.

Cuando los planetas alcanzan un nivel de atracción de polvo cósmico del disco y diversos componentes, estos caerán al planeta abordando sus capas exteriores con una velocidad próxima a su velocidad de escape, hay que tener en cuenta que este proceso recibe una energía considerable el cual se produce a una creación de calor.

La situación de los planetas más lejanos es distinta. Evolucionaron en unos componentes de pequeñas velocidades a temperaturas bajas, por lo tanto pudieron retener gran cantidades de hidrogeno. Esta formación planetaria gaseosa ha tenido más aumento y tamaño en la región por la que evoluciona y se ve sometido a un prodigioso recalentamiento superficial, se registro con bastante amplitud a Júpiter y Saturno, que finalizando su desarrollo de formación y de crecimiento tendría velocidades de escape considerables.

2.4 Los grandes Planetas en el Sistema Solar

2.4.1 El paso de la Centrifugación

Dando la formación planetaria de los grandes planetas que gobernaban unos Universos en miniatura, esta materia estaba sometida a un intenso tratamiento centrifugador el cual Júpiter y Saturno todavía se caracterizaba por sus apreciables de gravedad según su latitud. El proceso de centrifugación del Júpiter y del a Tierra van a ser distintos ya que en Júpiter gira sobre sí mismo, esta rotación proporciona al planeta un achatamiento, pero en Saturno la diferencia es más impresionante ya que allí la gravedad entre los polos y el ecuador disminuyen.

2.4.2 Júpiter y su Mundo

Júpiter un planeta que causa notables situaciones de sus dominios, gigantesco por sus dimensiones y el tamaño de sus satélites.

Los cuatro satélites de Júpiter ocuparon un lugar considerable en la historia, no solamente de la Ciencia si no de las técnicas, se determinó las masas de estos satélites y por lo tanto se pudo calcular su densidad y se indicó un creciente porcentaje de gas carbónico solidificado, en donde el resultado de la destilación de Júpiter que provocó en sus dominios, fue como el Sol había hecho en su Origen.

2.4.3 Saturno: sus Satélites y Anillos

Saturno posee un volumen casi igual al de Júpiter, este planeta gira sobre sí mismo en el ecuador, en la actualidad los astrónomos consideran que la velocidad de Saturno como la de Júpiter varia con la latitud, siendo así la astronáutica ha familiarizado el concepto de satélite estacionario cuyo periodo de rotación corresponde a la revolución del planeta.

Los anillos de Saturno son objetos que se tratan de una recolección de micro satélite, constituidos por minuciosos bloques de hielo que gravitan aisladamente al planeta. Este conjunto está cortado por los satélites principales de Saturno del mismo modo que en el Sistema Solar los dominios de los Asteroides están por la gravitación joviana.

Capítulo 3

Experiencia en el Aula

3.1 Nuestra experiencia

A partir de la *Investigación Descriptiva* (La investigación,1999) identificamos y conocimos situaciones y acontecimientos en la población que se intervino lo cual nos permitió hacer predicciones. La cuales se realizaron a partir de estudios de encuestas, y desarrollo de talleres para probar hipótesis específicas y poner a prueba explicaciones.

Con el fin de obtener datos sobre la base de una hipótesis la cual es “Que los estudiantes del Club de Astronomía y los profesores en formación no identifican las Teorías que dan explicación al Origen del Sistema Solar” siendo así esta metodología permite describir e identificar una manera adecuada de enseñar la temática. Este método se puede describir por diferentes etapas o fases.

3.2 Etapas: Investigación Descriptiva

- **Examinar las características del problema elegido.**
 - Es un problema “abierto” y no se encuentra un modelo unificado.
 - Los modelos más importantes difieren en sus explicaciones.
 - El análisis exige conocimientos de matemáticas elevadas como manejo de Momento Angular, Campo Magnético, La Magnetohidrodinámica.
 - No hay difusión de estos conceptos en Media.

- **Hipótesis.**

- El diseño elaboración y aplicación de las guías contribuirán al desarrollo conceptual de los integrantes del grupo objeto.
- La contrastación de las edades del Sistema Solar con la edad del Universo con la realización de unas lecturas permitirá identificar estos eventos como independientes.
- El indagar sobre los conceptos previos que tienen los estudiantes sobre el Origen del Sistema Solar no permitirá caracterizar sus ideas.
- La exposición las diferentes teorías que aclaran el Origen del Sistema Solar permitirá aclarar y generar dudas.

- **Datos**

Entre los supuestos que están a la base de nuestras hipótesis esta: que los estudiantes del Club de Astronomía y los profesores en formación debe conocer las teorías actuales sobre el origen del Sistema Solar, y que el diagnosticar sus ideas previas nos permitirá que ellos realicen un contraste con cada teoría. Con el objetivo de recolectar los datos después de la implementación de las guías elaboramos una encuesta nos permitió dominar lo aprendido u interiorizado por los estudiantes o si sus ideas previas persisten esto enmarcado en una propuesta didáctica propia de la Astronomía.

3.3 Didáctica de la Astronomía

La didáctica de la Astronomía es un tema por trabajar, aparecen aproximaciones en artículos publicados en memorias de congresos Colombianos o en las olimpiadas realizadas por la Universidad Antonio Nariño. Las estrategias didácticas que planteamos están centradas en actividades que permitirán presentar y trabajar tópicos propios de la Física que permiten entender procesos implícitos en la formación de Sistema Solar. Estos conceptos hacen parte de la Mecánica Clásica y La Magnetohidrodinámica.

Se identifican propuestas en términos de la didáctica de las ciencias y didáctica de la física como referentes como es el caso de *Latín American Journal of Physis Education (LAPEN)*, donde se proponen investigaciones en didáctica de la Física y enfoques para la construcción del currículo en ciencias.

Nuestra propuesta cuentan con actividades que contiene: Objetivos educativos, Herramientas técnicas y Estrategias Didácticas desarrolladas e implementadas con el club de Astronomía del Colegio Distrital Escuela Nacional de Comercio (ESNALCO) y profesores en formación de Licenciatura en Física de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Para este caso 8 estudiantes de la ESNALCO y 8 profesores en formación.

El club de Astronomía de ESNALCO hace parte de los clubes que habitualmente presentan los Colegios Distritales. Este club cuenta con 10 estudiantes y poseen un telescopio Celestron Q1300 y concentran sus actividades en propuestas de cohería y reconocimiento de telescopios que orbitan la tierra.

La propuesta para los profesores en formación se centra en el desarrollo de actividades propias de la mecánica clásica, para este caso actividades que nos permiten reconocer las ideas de La place en cuanto a la hipótesis de introducir una nebulosa en rotación como origen del sistema solar al reconocer las trayectorias casi circulares de los planetas y su dinámica (ROSS,2000) y con los estudiantes de ESNALCO la construcción y reconocimiento del Motor Magnetohidrodinámico que permitirá establecer analogías en

cuanto a la necesidad de un campo magnético inicial que prenda el proceso, con la idea de validar nuestra hipótesis. El desarrollo de la propuesta y experiencia se presenta a continuación, se inicia con la experiencia con los profesores en formación y posterior el trabajo con el club de astronomía.

3.3.1 Experiencia con los profesores en formación, El caso de las orbitas de los planetas con compas

Se inicia con una clase magistral donde se la presentaron las ecuaciones (1.8) (1.13) que modelan el Momento Angular en coordenadas Polares y la conservación de la energía para el caso de una partícula ligada a un potencial derivado de una fuerza central (Kleppner). Después se plantea al grupo la tarea de desarrollar un programa empelando el método de Verlet para desarrollar el siguiente programa propuesto en (Talero, 2010) ver *Anexo I*, que permite obtener orbitas de los planetas dependiendo de condiciones iniciales, las siguientes son graficas construidas por el grupo:

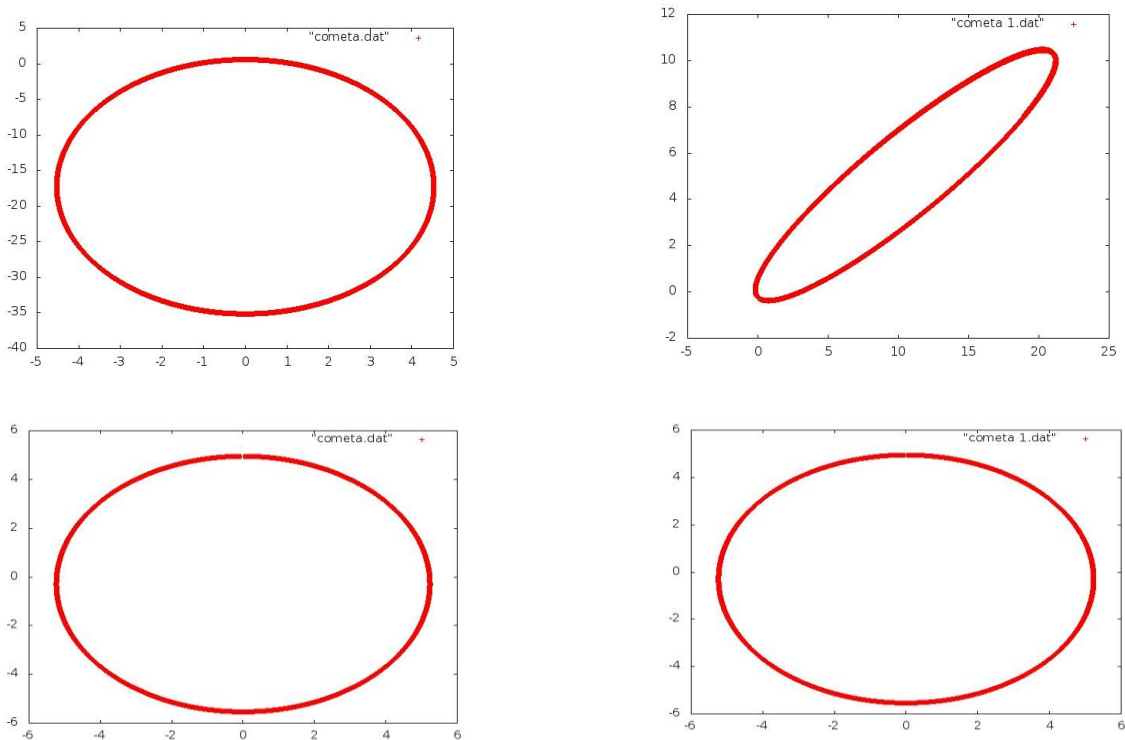


Figura 4. Algunas de las Trayectorias de Júpiter y Halley construidas por lo profesores en formación

En este punto el grupo tenían claridad en las consecuencias de la conservación de la energía y del momento angular así como el conocimiento de las leyes de Kepler, se quiso plantear una actividad conceptual que permitiera evidenciar el manejo de la Ley de Gravitación Universal y la construcción de una órbita teniendo en cuenta esta ley y herramientas como cartulina, lápiz y compas, con el ánimo de verificar el grado de comprensión teniendo en cuenta que manejaban formulaciones matemáticas y desarrollaron un programa para solucionar el problema.

La actividad esta propuesta en (Perelman, 1950) ver **Anexo 2**, la cual tiene como objetivo que los estudiantes reconstruyan la trayectoria de una partícula de prueba ligada gravitacional mente, a continuación se mostrará la guía y posteriormente los resultados obtenidos.

DOCENTES EN FORMACIÓN
Realizado por: ALEJANDRA CUTIVA

“Cuando las leyes de la matemática se refieren a la realidad, no son ciertas; cuando son ciertas, no se refieren a la realidad”
Albert Einstein

Objetivo

- Explicar las trayectorias de los planetas con los compas.

Competencias

- El estudiante comprenda las trayectorias de los planetas, estudiando la primera ley de Kepler para un mejor entendimiento de este trabajo.

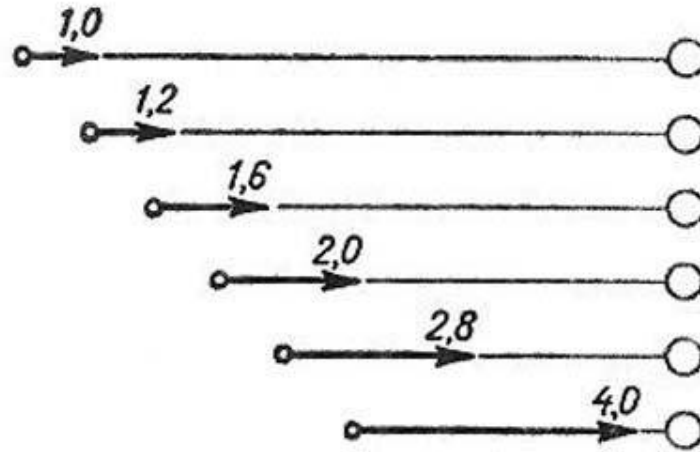
LA TRAYECTORIA DE LOS PLANETAS CON EL COMPAS

La primera ley de Kepler afirma que los planetas se mueven describiendo elipses *¿Por qué precisamente elipses?*

Según la primera ley de Kepler nos cuenta que todos los planetas se desplazan alrededor del Sol describiendo órbitas elípticas. En donde el Sol se encuentra en uno de los focos de la elipse. Si uno pudiera pensar que si se hace sentir por todas partes la misma fuerza en torno al Sol y ésta disminuye con el alejamiento en igual medida, los planetas deberían dar vuelta alrededor del Sol siguiendo círculos y no trayectorias cerradas y estiradas, en las cuales el Sol no ocupa una posición central. La cuestión queda perfectamente clara luego de estudiar matemáticamente el problema. Pero sólo algunos de los aficionados al estudio del cielo poseen los conocimientos de matemática superior necesarios para afectar dicho análisis.

Intentaremos hacer comprensible la validez de las leyes de Kepler para aquellos lectores que sólo conocen las matemáticas elementales.

1. La fuerza de atracción del planeta por el Sol aumenta con la disminución de la distancia.



Para empezar...

Con un compa, una regla graduada y una hoja grande, de papel, vamos a construir nosotros mismos las órbitas de los planetas y a comprobar así gráficamente que esas trayectorias resultan tal como deben ser, de acuerdo con las leyes de Kepler.

El movimiento de planetas es gobernado por la fuerza de atracción.



El círculo estará representando a escala el Sol y la línea el planeta, siendo así la distancia entre ambos se supone que es de 1.000.000 Km que se presenta con el dibujo por 5cm, siendo la escala de 200.000 Km por 1cm.

La flecha es de 0,5cm de longitud, esta es la fuerza con que el Sol atrae a los Planetas, bajo esa fuerza el planeta se acerca al Sol y se encuentra a 900.000 Km es decir a 4,5cm en el dibujo.

Las leyes de la gravitación, en:

$$(10/9)^2$$

O sea, 1,2 veces. Si antes se representaba la atracción con una flecha de 1 unidad de longitud, ahora deberá darse a la flecha una longitud de 1,2 unidades. Cuando la distancia disminuye a 800.000 km, es decir, a 4 cm en nuestro dibujo, la fuerza de la atracción crece

$$(5/4)^2$$

Es decir, 1,6 veces y se representa con una flecha de 1,6 unidades. Para posteriores aproximaciones del planeta al Sol, hasta las distancias de 700, 600 y 500 mil kilómetros, la fuerza de atracción se representará respectivamente con flechas de 2, de 2,8 y de 4 unidades de longitud.

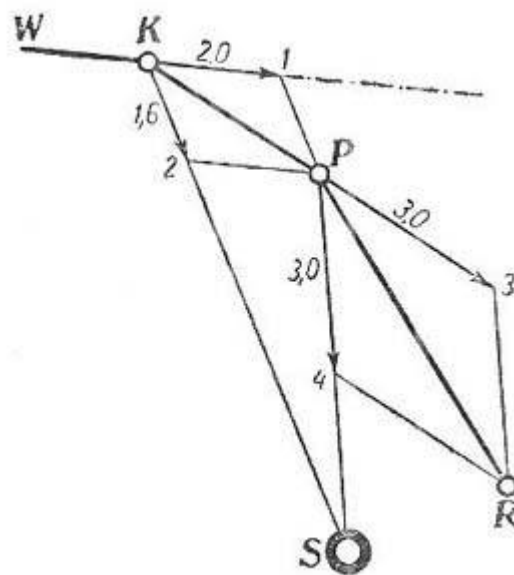
En nuestras construcciones posteriores vamos a utilizar este esquema como patrón de los desplazamientos del planeta.

Actividad 1

¿Cómo hace el Sol S que el camino WKPR del planeta, sea curvo?

Procedamos ahora a la construcción de la trayectoria de un planeta que gira alrededor del Sol. Supongamos que se trata de un planeta de la misma masa que el anteriormente considerado, que se mueve en la dirección WK con velocidad de 2 unidades de longitud y se encuentra en el punto K, a 800.000 km de distancia del Sol .A esta distancia la atracción del Sol actuará sobre el planeta con una fuerza tal, que lo obligará a desplazarse en una unidad de tiempo en dirección al Sol 1,6 unidades de longitud; en el mismo espacio de tiempo el planeta se adelanta 2 unidades en la dirección original WK. Como resultado de ambos movimientos se desplazará según la diagonal KP del paralelogramo construido con los desplazamientos K1 y K2, diagonal que es igual a 3 unidades de longitud.

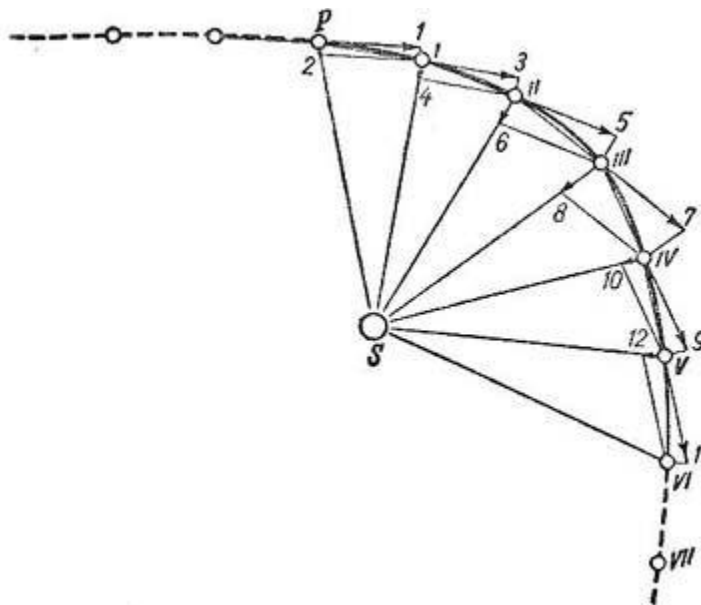
Encontrándose en el punto P, el planeta tratará de moverse más lejos en la dirección KP con una velocidad de 3 unidades.



Actividad 2.***El Sol desvía al planeta P de su trayectoria recta original y lo obliga a describir una línea curva***

No nos detendremos en llevar más adelante la construcción en el mismo dibujo: la escala es demasiado grande. Se comprende que cuanto menor es la escala, tanto mayor es la parte de la trayectoria del planeta que se puede representar en el esquema y tanto menor la variación brusca de los ángulos que alteran el parecido de nuestro esquema con la trayectoria real del planeta. En la figura se muestra el mismo esquema, con una escala mucho menor, para el caso imaginario del encuentro del Sol con un cuerpo celeste de masa igual a la del planeta considerado antes. Se ve claramente que el Sol desvía al planeta extraño de su trayectoria inicial y lo obliga a seguir la curva P-I-II-III-IV-V. Los ángulos de la trayectoria trazada aquí no son tan bruscos y no resulta difícil unir las posiciones sucesivas del planeta, mediante una línea curva suave.

¿Qué curva es ésta? La geometría nos ayuda a contestar esta pregunta. Pongamos sobre el dibujo de la figura una hoja de papel transparente y calquemos en ella seis puntos, elegidos arbitrariamente, del camino del planeta.



Demostración geométrica de que los planetas se mueven alrededor del Sol, siguiendo una sección cónica. (Detalles en el texto)

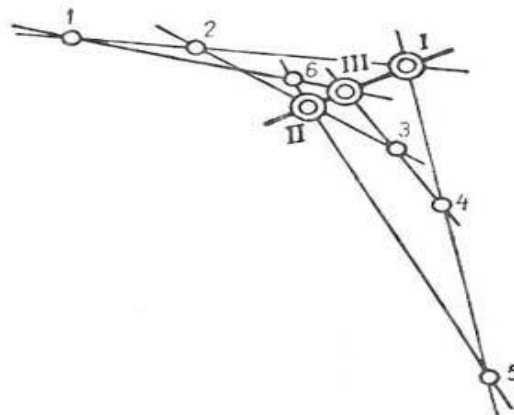
Numeramos los seis puntos elegidos (figura 90) en cualquier orden y los unimos entre sí en ese mismo orden con segmentos rectos. Nos resultará una figura hexagonal inscrita en el camino del planeta, algunos de cuyos lados se cruzan.

Prolonguemos ahora la recta 1-2 hasta la intersección con la línea 4-5 en el punto I. Del mismo modo, tendremos el punto II en la intersección de las rectas 2-3 y 5-6, y después el punto III en las intersecciones 3-4 y 1-6. Si la curva examinada es una de las llamadas “secciones cónicas”, es decir, una elipse, una parábola o una hipérbola, los tres puntos I, II y III deben estar en línea recta. Este teorema geométrico se denomina “hexágono de Pascal”.

Con una ejecución cuidadosa del dibujo, los puntos de intersección indicados quedan siempre en línea recta. Esto demuestra que la curva examinada es una elipse, una parábola o una hipérbola. La curva de la figura 89, evidentemente, no puede ser una elipse (la curva no es cerrada), y esto quiere decir que el planeta se movería en tal caso por una parábola o por una hipérbola. La relación entre la velocidad inicial y la fuerza de la atracción es tal que el Sol sólo desvía al planeta de su trayectoria en línea recta, pero no es capaz de hacerlo girar a su alrededor, dicho de otro modo, no es capaz de “prenderlo”, como dicen los astrónomos.

Intentemos ahora aclarar por un procedimiento similar la segunda ley del movimiento de los planetas, la llamada ley de las áreas. Examinemos atentamente la figura 21 (Ver capítulo 1. “14. Si la trayectoria de la Tierra fuera más pronunciada”). Doce puntos marcados en ella la dividen en doce partes de diferente longitud, pero ya sabemos que el planeta las recorre en tiempos iguales.

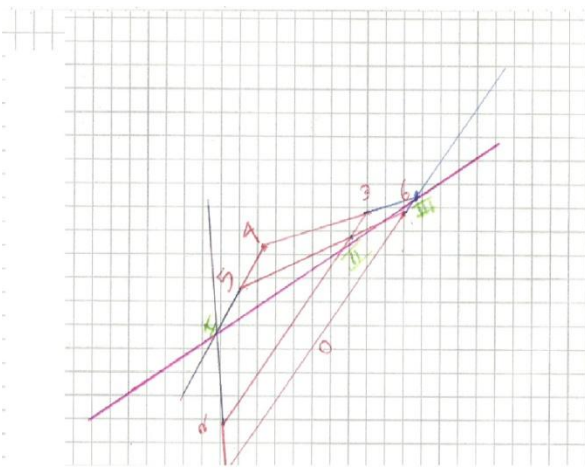
Uniendo los puntos 1, 2, 3, etc. con el Sol, se obtienen 12 figuras cuyas superficies son aproximadamente iguales a las de los triángulos que resultan si se unen esos puntos con cuerdas. Midiendo las bases y las alturas, puedes calcular las áreas. Comprobarás que todos los triángulos tienen la misma área.



Explicando en otras palabras se ha verificado la segunda ley de Kepler como:

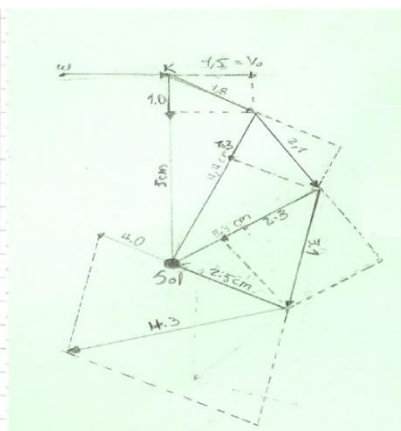
“Los radios vectores de las órbitas de los planetas barren áreas iguales en períodos de tiempo iguales.”

Así, pues, el compás, hasta cierto punto, ayuda a comprender las dos primeras leyes de los movimientos de los planetas. Para aclarar la tercera ley cambiemos el compás por la pluma y efectuemos algunos ejercicios numéricos.



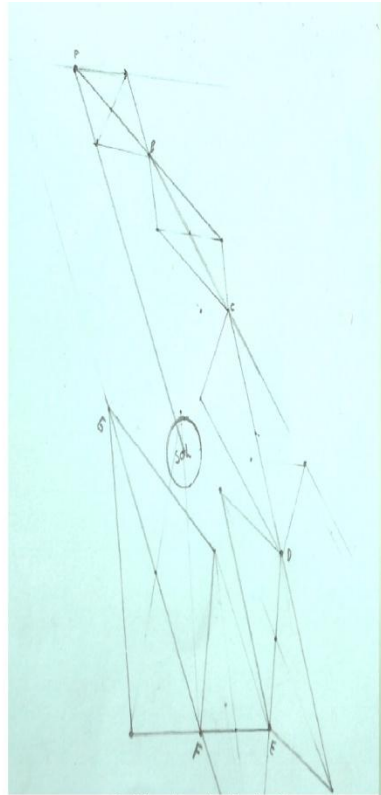
Proyección
del hexágono de Pascal
sobre una línea recta

Gráfica del estudiante: A

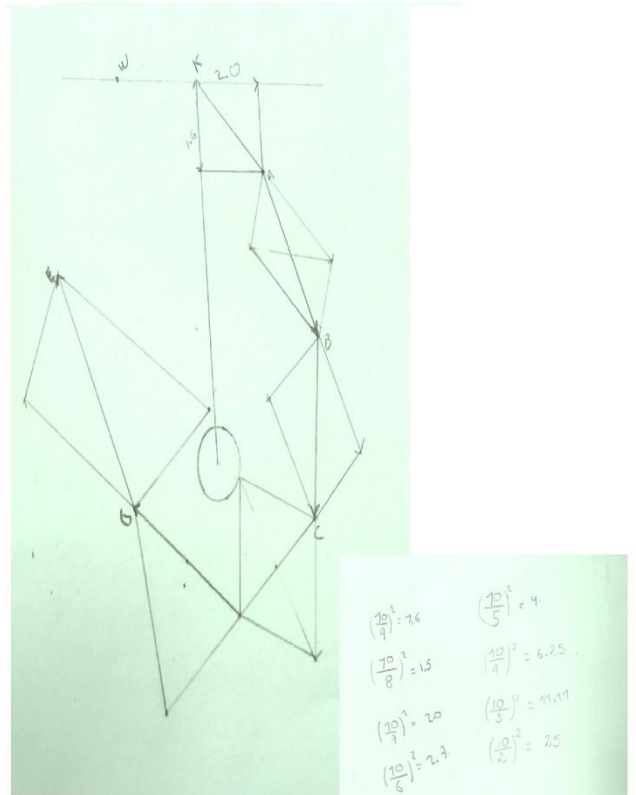


• La fuerza se hace muy intensa y el cuerpo en órbita tiende a caer al más masivo, el que sería el Sol

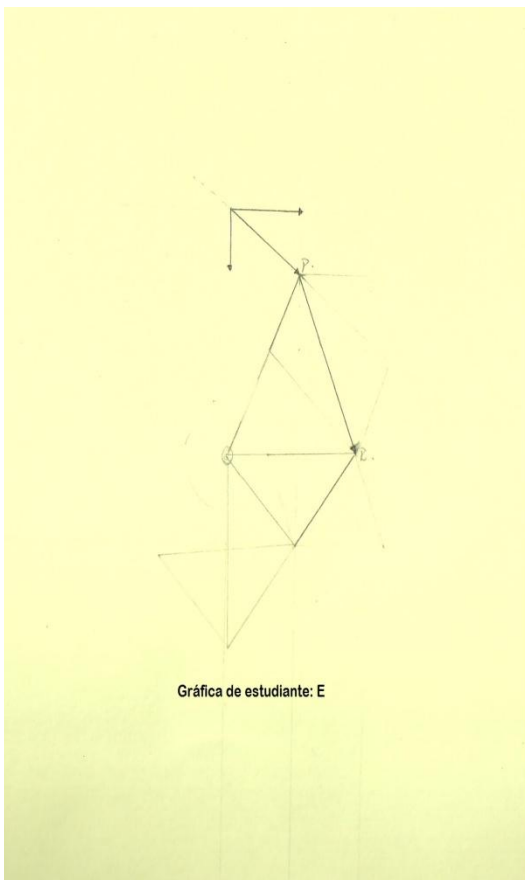
Gráfica del estuante: B



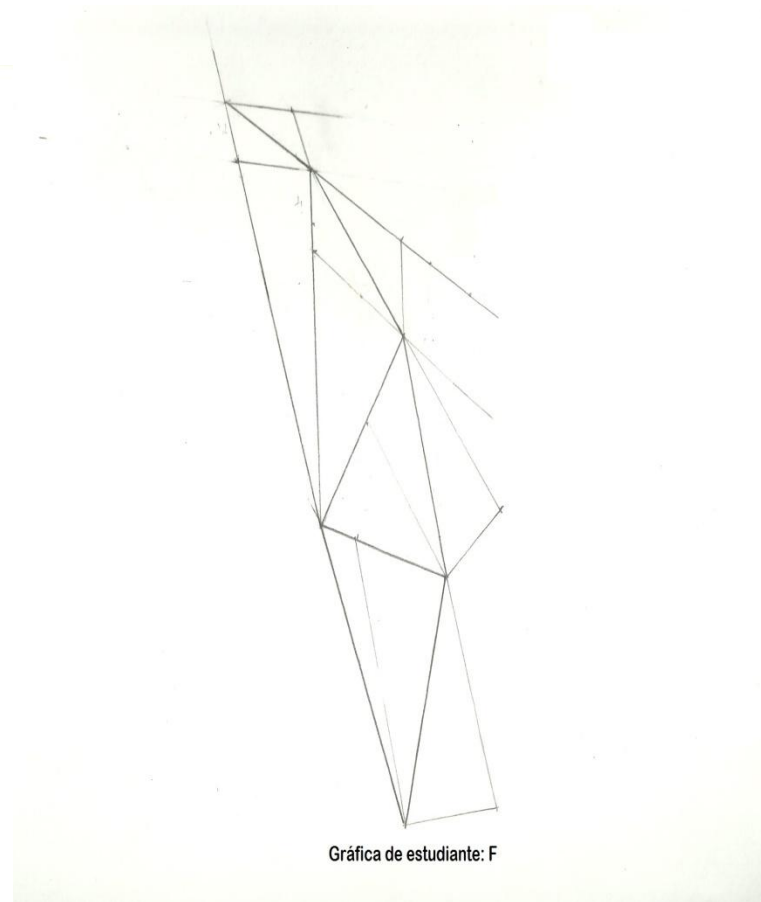
Gráfica de estudiante: C



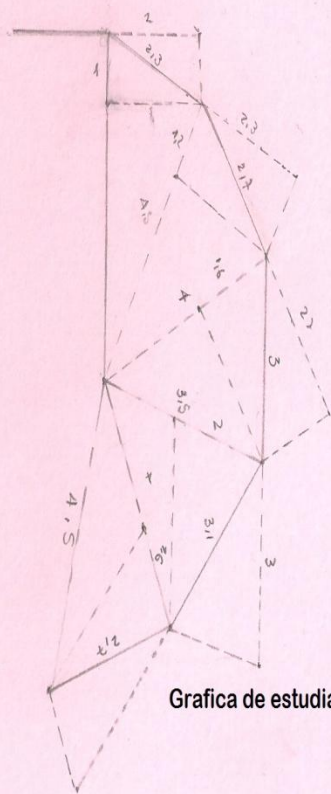
Gráfica de estudiante: D



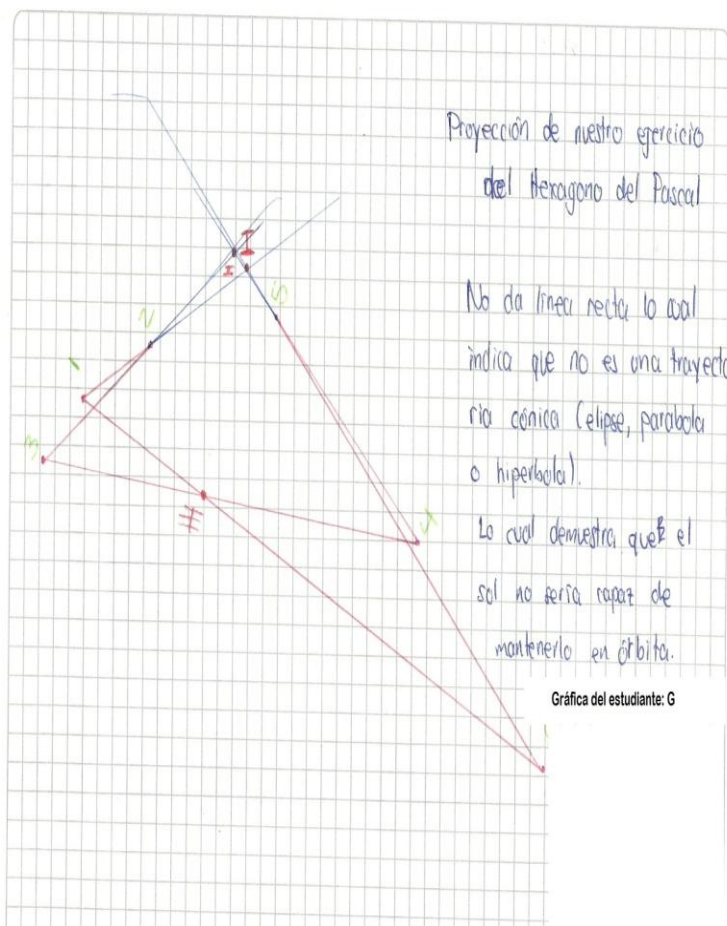
Gráfica de estudiante: E



Gráfica de estudiante: F



Grafica de estudiante: H



Grafica del estudiante: G

Para analizar los resultados de esta actividad nombraremos los estudiantes de la siguiente manera A, B, C, D, E, F, G, H. Se pudo evidenciar que:

El estudiante **A**: Realizó una proyección del Hexágono de Pascal en donde enumeró en cualquier orden los seis puntos y los unió entre sí en orden con segmentos rectos, pero se evidencia que no cumple este teorema geométrico. Para que se cumpla tiene que estar alineados los tres puntos I, II, III y examinar en él una de las llamadas secciones cónicas es decir una elipse, una parábola o una hipérbola. Y en el taller del estudiante **A** no se evidencia.

El estudiante **B**: Los resultado q se ve la trayectoria inicial del planeta y lo obliga a seguir una curva pero llega un punto en donde el objeto escapa debido a traslación. Plasmo el dibujo casi perfecto de la trayectoria.

Los estudiantes **C y D**: Tuvieron los resultados casi iguales elaborados en la hoja de cada uno, pero no se vio una diferencia esperada en la trayectoria. El estudiante **D** compara numéricamente la atracción gravitatoria del planeta por el Sol, pero no muestra la trayectoria esperada. Ahora bien, el Sol desvía al planeta en la trayectoria recta original y lo obliga a describir una línea curva, en esta trayectoria no se evidencian muy bien la descripción de esa línea Curva.

El estudiante **E**: En este dibujo no se encuentra la descripción de la línea curva en donde el Sol desvía al planeta en la trayectoria.

El estudiante **F**: No ubica el Sol, se alcanza a ver en el dibujo la desviación del planeta, pero no se hace muy evidente ya que los vectores que se ven en el dibujo no son resaltados y no dan una buena armonización de línea Curva.

El estudiante **G**: La proyección que realizó este estudiante fue de un Hexágono de Pascal, pero tampoco cumple estar alineados los tres puntos para que cumpla una trayectoria cónica. Y con este estudiante tampoco se evidencia como el estudiante **A**.

El estudiante **H**: En su taller muestra una muy buena trayectoria, en donde el Sol desvía al planeta de su trayectoria recta origina y se evidencia muy bien que lo obliga a describir una línea curva.

Lo cual permitió evidenciar que aunque los estudiantes manejen conceptos físicos, modelación matemática y herramientas computacionales no respondieron adecuadamente en la actividad conceptual lo cual pude recaer en falta de preparación de nuestra actividad o la repetición tradicional por parte de los estudiantes de las actividades desarrollas en las clases o algo que se quiso testear con otra actividad que es el grado de descripción, argumentación y proposición después de desarrollar una lectura, pensamos que los estudiantes no tienen estas competencias.

Por otro lado se les explico porque es importante estudiar las trayectorias de los planetas ya que es un punto inicial para estudiar el Origen del Sistema Solar. Laplace observó que

los planetas rotaban por consiguiente el construye una hipótesis en donde afirma que la formación del Sistema Solar fue a partir de una Nebulosa en rotación.

3.3.2 Experiencia con los estudiantes del Club de Astronomía de ESNALCO, El caso del Motor Magnetohidrodinámico.

Con los estudiantes del club de astronomía de ESNALCO, se desarrollo el taller sobre el **Motor Magnetohidrodinámico (M&M) Anexo 3** teniendo un alto grado de aceptación pues todos los estudiantes lo elaboraron y permitió plantear las siguientes analogías:



- El agua representa la nebulosa primitiva, la cual gracias a la electrólisis cuenta con electrones libres.
- La sal y las partículas de prueba son componentes de la nebulosa.
- El imán representa el campo magnético que prende el proceso de rotación.

En el desarrollo y construcción del motor debió pasar por una fase de calibración teniendo en cuenta que cualquier imán no sirve (Campo Magnético) y que la cantidad de agua sal y partículas de prueba se debe ajustar a las condiciones geométricas y a la cantidad de masa involucrada, esta calibración fue desarrollada por los estudiantes, desde la altura del vaso hasta la cantidad de masa. Lo cual permitió dejar preguntas abiertas como la dependencia con la temperatura.

Por otro lado esta actividad ayudo a explicar por medio de analogía el Origen del Sistema Solar, acercando al estudiante a entender como empieza a rotar la Nebulosa y como se

aglomera el polvo que contiene el disco viéndolo desde el experimento (la pimienta) que se ve en rotación. Por otro lado el campo magnético que hace que este proceso rote mirándolo desde el experimento es un imán que interactúa con el alambre en el momento que se introduce en el vaso conectado desde una pila de 9V, haciendo la analogía hay un campo magnético que hace que la nebulosa rote.

Con este experimento se quería llegar a que el estudiante supiera todo el proceso físico de la Nebulosa y relacionara lo que compone el experimento de la actividad.

Capítulo 4

CONCLUSIONES

- Dentro de los modelos de Creación de los Sistema Solar se evidencia que el que tiene mayor aceptación es el modelo Nebular.
- La principal crítica al modelo catastrófico está en la baja probabilidad de colisión entre las estrellas debido a la distancia tan grande entre estas.
- Presentamos una hipótesis de trabajo que puede justificar la rotación de la Nebulosa Primitiva en el Modelo Nebular, el cual es un campo magnético que hace prender este proceso de rotación debido a la radiación cósmica de Fondo, aunque esta hipótesis queda abierta para un estudio más profundo de ella.
- Aunque los profesores en formación manejen conceptos físicos, modelación matemática y herramientas computacionales no respondieron adecuadamente en la actividad conceptual Trayectoria de Los Planetas con Regla y Compas.
- Se desarrollo la propuesta del Motor magnetohidrodinámico con los estudiantes del club de astronomía y plantear una seria de analogías con el modelo nebular y nuestra hipótesis.
- Lo modelos actuales sobre creación del Sistema Solar contemplan la rotación de la nebulosa por fuerzas convectivas, omitiendo el campo magnético, lo cual deja un campo por explorar.

Anexo 1: Actividad del Libro Experimentos Virtuales de Física, Capítulo 7 (Paco Talero).

En esta actividad se les explico a los profesores en formación de porque es importante estudiar las trayectorias de los planetas para entender el Origen del Sistema Solar. Anterior a este se realizó una clase magistral en donde se les explicaba la parte matemática de esta actividad, utilizando como herramienta de trabajo el programa C++, tomando como ayuda de guía el libro *Experimentos Virtuales de Física de Paco Talero*. A continuación se mostrara el código mejorado en C++ por los profesores en formación.

Capítulo 7

El movimiento de planetas, cometas y otros cuerpos celestes

El movimiento de planetas, cometas y otros cuerpos celestes se rige principalmente por la ley de la gravitación universal y por la segunda ley de Newton. Para describir el movimiento orbital de estos cuerpos celestes es preciso considerar sus masas, mucho menores que la del sol, lo cual permite ubicar el origen del sistema de referencia inercial en el mismo sol. Aunque el problema del movimiento de los cuerpos celestes alrededor del sol tiene solución analítica, es importante mostrar una solución del mismo problema a través de un método numérico simple, como es el método de Verlet.

1 Problema de Kepler

Este problema se refiere a la atracción o repulsión que sufren dos partículas debido a una fuerza que es inversamente proporcional al cuadrado de su distancia. La repulsión se presenta para el caso de dos partículas con carga eléctrica de igual signo, mientras que la atracción se presenta si las partículas tienen carga eléctrica de signos diferentes o si la atracción es exclusivamente gravitacional, caso que ocurre en la interacción de los cuerpos celestes.

Cuando un cuerpo celeste de masa mucho menor que la masa del sol es atraído por éste, el cuerpo se mueve en un plano y tiene como trayectoria una parábola, una elipse o una hipérbola. En algún punto de su trayectoria, la fuerza que actúa sobre el cuerpo celeste debida al sol es:

$$\vec{F} = -\frac{GMm}{r^2}\hat{u}_r \quad (7.1)$$

y su aceleración es:

$$\vec{a} = -\frac{GM}{r^2}\hat{u}_r \quad (7.2)$$

Puesto que el movimiento ocurre en un plano, las expresiones (7.1) y (7.2) están enunciadas en coordenadas cilíndricas porque resultan más cómodas a la hora de revisar cálculos; sin embargo, las coordenadas cartesianas resultan más sencillas a la hora de realizar cálculos numéricos. Por esta razón, se expresa la aceleración en sus coordenadas cartesianas, así:

$$\begin{aligned} a_x &= -\frac{GMx}{(x^2 + y^2)^{\frac{3}{2}}} \\ a_y &= -\frac{GMy}{(x^2 + y^2)^{\frac{3}{2}}} \end{aligned} \quad (7.3)$$

Por otro lado, las distancias entre el sol y los cuerpos celestes objeto de estudio son significativas, situación que resulta incómoda en los cálculos numéricos debido a los errores de redondeo. Para resolver este inconveniente se usan unidades adecuadas, como la unidad astronómica: 1 UA = $1,496 \times 10^{11}$ m, para la distancia; y para el tiempo, un año: 1 año = $3,156 \times 10^7$ s.

2 Método de Verlet

Para aproximar el movimiento continuo de un cuerpo celeste alrededor del sol, es preciso realizar algún tipo de hipótesis sobre el movimiento que habrá de seguir tal cuerpo celeste entre algunos intervalos de tiempo Δt , que son fijos y pequeños comparados con el período del movimiento. Tal hipótesis consiste en que a intervalos de tiempo iguales los cuerpos celestes se mueven con movimiento uniformemente acelerado y que su aceleración cambia de acuerdo con la ley de gravitación universal en un tiempo que es despreciable respecto al intervalo de tiempo escogido. Esta hipótesis es una reinterpretación del método de Verlet.

Considere una partícula de masa m que se mueve en una trayectoria recta sometida a una fuerza neta $F(x)$, que, en general, es arbitraria y que puede depender de la posición. Además, para $t = 0$, la posición es x_0 y la velocidad v_0 .

De acuerdo con la segunda ley de Newton, la aceleración de la partícula es:

$$a(x) = \frac{F_n(x)}{m} \quad (7.4)$$

Para un tiempo t_0 la partícula tiene una posición x_0 , una velocidad v_0 y está sometida a una fuerza $F_n(x)$. La aproximación en el método de Verlet está fundamentada en los siguientes aspectos:

1. Se escoge un tiempo Δt pequeño en comparación con los tiempos que se esperan para el movimiento.
2. Se supone una aceleración constante y un movimiento uniforme acelerado entre cada Δt .

3. El movimiento entre x_n y x_{n+1} tiene aceleración promedio $(a_n + a_{n+1})/2$.
4. Se obtienen ecuaciones recurrentes en las que la posición y velocidad finales se convierten en posición inicial y velocidad inicial del siguiente paso. La aceleración es calculada a partir de la fuerza en cada paso.
5. Este procedimiento proporciona las ecuaciones recurrentes:

$$x_n = x_{n-1} + v_{n-1} \cdot \Delta t + \frac{1}{2} a_{n-1} (\Delta t)^2 \quad (7.5)$$

$$a_{n-1} = \frac{F(x_{n-1})}{m} \quad (7.6)$$

$$v_n = v_{n-1} + \frac{1}{2} (a_{n-1} + a_n) \cdot \Delta t \quad (7.7)$$

$$n = 1, 2, 3 \dots$$

En la ecuación (7.6), $F(x_{n-1})$ y m son siempre conocidas, y también los demás parámetros.

3 Algoritmo

El siguiente algoritmo implementa de manera lógica el método de Verlet:

1. Se definen los parámetros del sistema: producto de la constante de gravitación por la masa del sol, tiempo máximo e incremento en el tiempo.
2. Se establecen las condiciones iniciales de posición en x y en y , la rapidez inicial y el ángulo de partida.
3. Se define un método para la aceleración en x y otro para la aceleración en y .
4. ¿Es el tiempo total menor o igual que el tiempo máximo? Si la respuesta es verdadera, se va al paso 5; y si es falsa, se va al paso 9.
5. Se calcula la posición con la expresión (7.5) tanto en x como en y .
6. Se calcula la velocidad con la expresión (7.7) tanto en x como en y .
7. Se imprimen $t, x, y, v_x, v_y, a_x, a_y$.
8. Se incrementa el tiempo en Δt y se retorna al paso 4.
9. Fin.

El programa que implementa este algoritmo se presenta en el apéndice VII.

4 Experimentos virtuales

- a. **Movimiento del cometa Halley alrededor del sol.** Para reproducir el movimiento del cometa Halley alrededor del sol es preciso conocer el período, el perihelio y el afelio, términos que hacen referencia a la distancia más cercana y más alejada del sol. En la tabla 7.1 se establecen los parámetros y condiciones iniciales que debe cumplir el movimiento del cometa alrededor del sol. Para tener la trayectoria completa del cometa, se fija el período, el perihelio y se va cambiando la rapidez en el perihelio hasta que la trayectoria justo se cierre.

| Parámetros | Valores asignados |
|-----------------------|--|
| GM | $4 * \pi^2 m^3/s^2$ |
| $T_{m\acute{a}x}$ | 75,5 años |
| Δt | 0,0001 años |
| Condiciones iniciales | Valores asignados |
| θ | 0,0 |
| X_o | 0,0 UA |
| Y_o | 0,584 UA |
| V_{orb} | $0,99178 * \sqrt{\frac{2GM}{Y_o}} \text{ UA/años}$ |

Tabla 7.1 Parámetros y condiciones iniciales para el movimiento del cometa Halley.

Los resultados del experimento virtual se muestran en la figura 7.1. En esta gráfica el sol se encuentra en el origen del sistema de referencia, la trayectoria de la Tierra es casi circular, mientras que la trayectoria del cometa es una elipse más clara; es decir, con mayor excentricidad. De acuerdo con el experimento virtual, es claro que las trayectorias de la Tierra y del cometa Halley se cruzan. Sin embargo, puesto que los planos siderales son distintos, no se espera colisión. El cometa Halley tuvo su último perihelio a principios de 1986, cuando se pudo apreciar a simple vista, y volverá a su perihelio a finales de 2061.

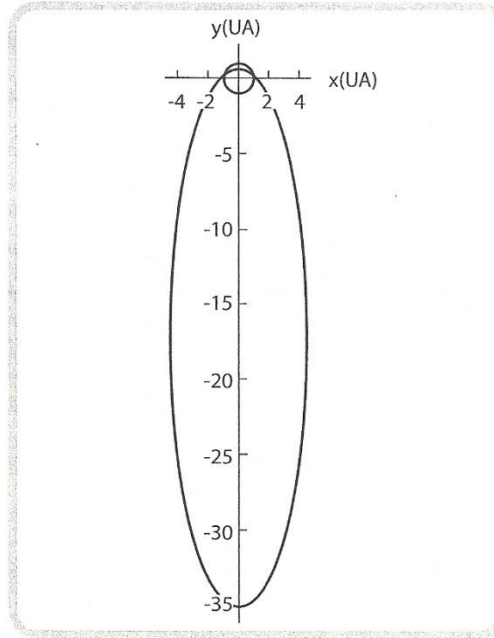


Figura 7.1 Trayectoria del cometa Halley alrededor del sol. El círculo pequeño representa la trayectoria de la Tierra alrededor del sol.

b. **Trayectoria del planeta Júpiter.** Los parámetros y las condiciones iniciales se muestran en la tabla 7.2.

| Parámetros | Valores asignados |
|-----------------------|---|
| GM | $4 * \pi^2 m^3/s^2$ |
| $T_{m\acute{a}x}$ | 12 años |
| Δt | 0,0001 años |
| Condiciones iniciales | Valores asignados |
| θ | 0,0 |
| X_0 | 0,0 UA |
| Y_0 | 4,95 UA |
| V_{orb} | $0,726639 * \sqrt{\frac{2GM}{Y_0}} \text{ UA/años}$ |

Tabla 7.2 Parámetros y condiciones iniciales para el movimiento de Júpiter.

Los resultados se muestran en la figura 7.2.

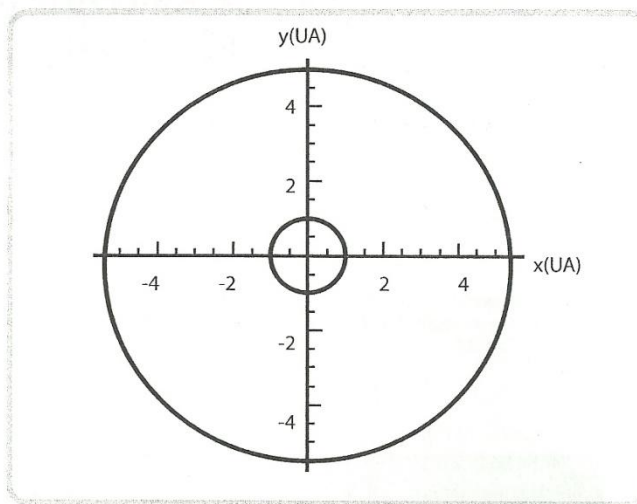


Figura 7.2 Trayectoria del planeta Júpiter.

5 Actividades

1. Realice un diagrama de flujo del método de Verlet.
2. Deduzca las ecuaciones (7.3).
3. ¿Qué unidades tiene la constante de gravitación?
4. Reproduzca los anteriores experimentos virtuales, es decir, la trayectoria del cometa Halley y del planeta Júpiter.
5. Encuentre la trayectoria de los siguientes planetas: Mercurio, Venus, Tierra, Marte, Saturno, Urano, Neptuno y Plutón.
6. Muestre la trayectoria de todos los planetas junto con la del cometa Halley. Comente los resultados.
7. Encuentre la rapidez en el perihelio y el afelio para cada uno de los planetas. Comente los órdenes de magnitud y compare los resultados entre sí.
8. Para el cometa Encke, encuentre su trayectoria y velocidad en el perihelio y en el afelio.
9. Adicione al programa del apéndice VII métodos que calculen la energía cinética y la potencial; luego, grafique la energía total contra el tiempo y verifique que permanece constante de acuerdo con el tamaño del paso Δt . Comente estos resultados.

```

#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <iostream.h>
//----- Parámetros -----
#define PI 3.14159265
#define Tmax 12.0 //Tiempo de recorrido en años
#define dt 0.0001 // Incremento en el tiempo en años
#define GM 4*PI*PI // Constante de gravedad

//----- Condiciones iniciales -----
#define Th 0.0 // Ángulo de partida en radianes
#define xo 0.0 // Posición inicial en x
#define yo 4.95 // Posición inicial en y
#define r sqrt(xo*xo+yo*yo) // Distancia al sol
#define vorb 0.726639*sqrt(2*GM/r) // Rapidez en algún punto de la órbita

main (void)
{
    float t=0.0,x,y,vx,vy,ax,ay,aux,auy;
    FILE *trayec;
    trayec=fopen("cometa.dat","w");

//-----Etapa de órbita-----

    x=xo;
    y=yo;
    vx=vorb*cos(Th);
    vy=vorb*sin(Th);
    while (t<Tmax)
    {
        ax=-(GM*x)/pow((x*x+y*y),1.5);
        aux=ax;
        ay=-(GM*y)/pow((x*x+y*y),1.5);
        auy=ay;
        x=x+vx*dt+0.5*ax*dt*dt;
        y=y+vy*dt+0.5*ay*dt*dt;
        ax=-(GM*x)/pow((x*x+y*y),1.5);
        ay=-(GM*y)/pow((x*x+y*y),1.5);
        vx=vx+0.5*(ax+aux)*dt;
        vy=vy+0.5*(ay+auy)*dt;
        fprintf(trayec,"%f %f\n",x,y);
        t=t+dt;
    }
    fclose(trayec);
    return 0;
}

```

Apéndice VII
**PROGRAMA QUE IMPLEMENTA EL MOVIMIENTO DE PLANETAS,
 COMETAS Y OTROS CUERPOS CELESTES**

Anexo 3: Actividad del Motor Magnetohidrodinámico

Con los estudiantes del club de astronomía de ESNALCO, se desarrollo el taller sobre el **Motor Magnetohidrodinámico (M&M)** teniendo un alto grado de aceptación pues todos los estudiantes lo elaboraron y permitieron plantear analogías

En el desarrollo y construcción del motor debió pasar por una fase de calibración teniendo en cuenta que cualquier imán no sirve (Campo Magnético) y que la cantidad de agua sal y partículas de prueba se debe ajustar a las condiciones geométricas y a la cantidad de masa involucrada, esta calibración fue desarrollada por los estudiantes, desde la altura del vaso hasta la cantidad de masa. Lo cual permitió dejar preguntas abiertas como la dependencia con la temperatura.

Guía 4.

**ESCUELA NACIONAL DE COMERCIO
CLUB DE ASTRONOMÍA
MOTOR MAGNETOHIDRODINAMICO
Realizado por: ALEJANDRA CUTIVA**

“Yo no enseño a mis alumnos, solo les proporciono las condiciones en las que puedan aprender”.

Albert Einstein.

Objetivo:

- Establecer la analogía del motor magnetohidrodinámico con la Teoría que explica el origen del Sistema Solar.

Competencias:

- Reconocer y comprender los conceptos de las Teorías que dan explicación al Origen del Sistema Solar.

MATERIALES

*sal
*Pimienta
*Agua
*una pila de 9 voltios

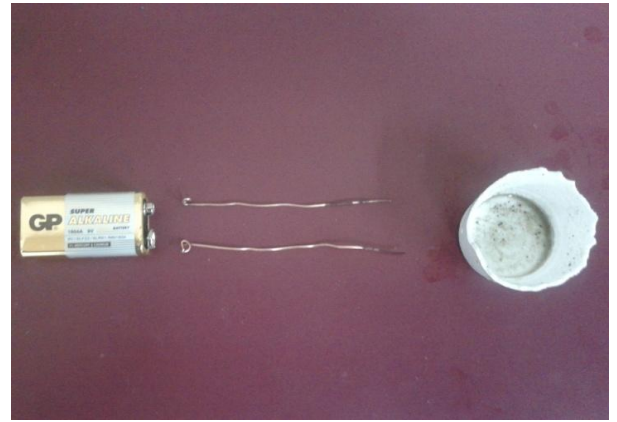
*dos alambres de cobre gruesos
*un vaso de polietileno
*un imán de parlante
*un imán de equipo de sonido grande

PROCEDIMIENTO

Agregamos en el vaso de icopor una muy pequeña cantidad de agua con una alta concentración de sal y mezclamos bien, luego de esto ponemos un poco de pimienta en esta mezcla para poder ver mejor el efecto del motor. Luego ponemos el vaso sobre el imán. Conectamos a la pila los dos alambres de cobre uno al positivo y otro al negativo e introducimos las puntas del alambre en el interior de la mezcla para producir una corriente en el agua con sal la cual interactúa con el campos magnéticos y acciona el motor.



Sal y Pimienta.

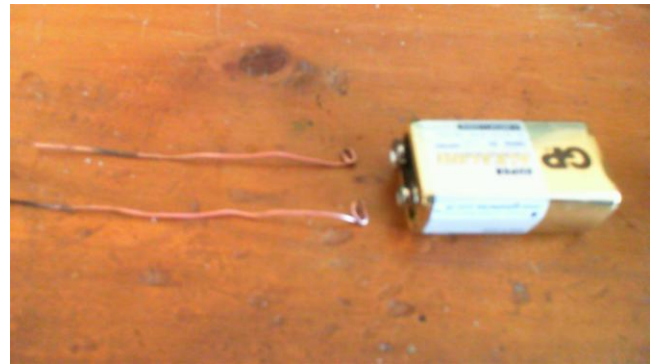


Alambre de cobre sin película protectora y batería de 9 V y vaso de icopor.



Imanes (Neopreno y de Equipo de sonido).

Con el fin de llevar a cabo el experimento y analizar a fondo su funcionamiento se realizo una segunda prueba casera, en donde funciono adecuadamente el motor magnetohidrodinámico como lo evidenciaremos en el video adjunto. Algunas imágenes de la segunda prueba (casera)



RECOMENDACIONES

- 1) La concentración de sal en agua debe ser muy alta para generar mejor conductividad (fenómeno que conocemos como electrolisis)
- 2) Al alambre de cobre tiene que ser pelado en su totalidad de su película protectora (Aunque en el proceso va a presentar como un proceso de “cristalización - oxidación”)
- 3) El imán que tuvo el mejor funcionamiento fue el de mayor tamaño y potencia
- 4) Pila de 9v es la que mejor funciona (Se hicieron pruebas con pilas de 3v y 1.5v pero su funcionamiento no fue el optimo)

Bibliografía

- [1] **Corral, Marco.** *La morada cósmica del hombre. Ideas de investigaciones sobre el lugar de la Tierra en el Universo*, [Libro].- México, D.F, Capítulo VII, 1997
- [2] **Corral, Marco.** *La morada cósmica del hombre. Ideas de investigaciones sobre el lugar de la Tierra en el Universo*, Figura 4: Representación de la teoría nebular Kant-Laplace:http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/155/htm/sec_1_1.htm [Libro].- México, D.F, Capítulo VII, 1997
- [3] **Cowling, T.G,** *Magnetohidrodinámica*, [Libro].- España, Editorial Alhambra, 1968.
- [4] **Ducrocq, Albert.** *La Aventura del Cosmos* [Libro]. – Barcelona: Nueva Colección Labor, 1968, Capitulo 9 *El fenómeno Planeta*.
- [5] **Investigación Descriptiva**, consulta también los post de investigación documental, histórica y experimental, 13/09/2006, [Noemágico Enlace permanente. SOBRE EDUCACIÓN](http://noemagico.blogia.com/2006/091301-la-investigacion-descriptiva.php). Disponible en Internet: <http://noemagico.blogia.com/2006/091301-la-investigacion-descriptiva.php>
- [6] **Observatorio Astronómico Nacional: Astronomía Fundamental.** Disponible en Internet: <http://www.observatorio.unal.edu.co/academia/asignaturas.html>
- [7] **Observatorio Astronómico de la Universidad Sergio Arboleda.** Disponible en Internet: <http://www.usergioarboleda.edu.co/observatorio/>
- [8] **Planetario de Bogotá,** Disponible en Internet: <http://idartes.gov.co/index.php/planetario-el-escenario>

[8] **Perelman, Yakov.** *Física Recreativa*. Disponible en Internet: <http://www.librosmaravillosos.com/fisicarecreativa1/>.

[9] **Ross, Stuart.** *Nuestro Sistema Solar y su lugar en el Cosmos* [Libro].- Cambige University, Editores 2000

[10] **Talero, Paco.** *Experimentos Virtuales de Física*, [Libro].- Universidad Central, Capitulo 7.

[11] **Universidad Distrital Francisco José de Caldas**, Proyecto Curricular: Ingeniería Catastral y Geodesia, Astronomía. Disponible en Internet: http://www.udistrital.edu.co/files/academia/ingcatastral/Syllabus_Astronomia_General_I.pdf.

[12] **Zeilik, Michael** *Astronomy The Evolving Universe*, [Libro].- Cambridge University Press, Novena Edición 2002, Capitulo 11 *The Origin and Evolution of the Solar System*.

OTRAS BIBLIOGRAFÍAS

[13] **Alfvén Hannes**, *On the Origin of the Solar System* [Publicación periódica]. - Mayo 12 1967, Pagina 215-220.

[14] **Astronomía** “*El planetario como medio de enseñanza*”. Disponible en Internet: <http://www.sogeocol.edu.co/documentos/planetario.pdf>

[15] **Battaner López Eduardo**, *100 problemas de Astrofísica*, Editorial Alianza 2001

[16] **Cameron, A. C. & Campbell, C. G.** 1993, *A&A*, 274, 309.

[17] **Cranmer, S. R.** 2008, ApJ, 689, 316. Matt, S. & Pudritz, R., 2005, ApJ, 632, L135 (MP05).

[18] **Jeff Hester (2004).** «*New Theory Proposed for Solar System Formation*». *Arizona State University*. Consultado el 11-01-2007.

[19] **Salvat Manuel** El Sistema Solar [Libro]. - Barcelona: Salvat Editores, 1967.

[20] **Salvat Manuel** La formación de la Tierra [Libro]. - Barcelona: Salvat Editores, 1967, Capitulo I: *El planeta Tierra. Pagina 40*

[21] **Swedenborg, Emanuel. 1734,** (Principia) Latin: Opera Philosophica the Mineralia (English: Philosophical and Mineralogical Works), (Principia, Volume 1) capitulo 1.

[22] «**The Nebular Theory of the origin of the Solar System**». *University of Arizona*. Consultado el 27/12/2006. Pagina 212-225

[23] «**The Past History of the Earth as Inferred from the Mode of Formation of the Solar System**». *American Philosophical Society* (1909). Consultado el 23-07-2006.

PAGINAS WEB

http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/155/htm/sec_11.htm

<http://www.unilibrebaq.edu.co/unilibrebaq/images/Documentos/mod2investigacion.pdf>

