**FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE INFORMES FINALES DE INVESTIGACIÓN, PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO(A) ELECTRÓNICA**

Versión 01/2018

***1. PORTADA***

**Universidad Sergio Arboleda**

**Escuela de Ciencias Exactas e Ingeniería (ECEI)**

**PROYECTO DE GRADO**

**DIFERENCIAS EN EL POSICIONAMIENTO DE CUERPOS Y OBJETOS CELESTES DEL SISTEMA SOLAR SEGÚN LA RELATIVIDAD GENERAL**

**Luis Alejandro Ríos Rosado**

**Director/es:**

**2020**

***2. CRÉDITOS***

**DIFERENCIAS EN EL POSICIONAMIENTO DE CUERPOS Y OBJETOS CELESTES DEL SISTEMA SOLAR SEGÚN LA RELATIVIDAD GENERAL**

**Luis Alejandro Ríos Rosado**

**Luis.rios02@correo.usa.edu.co**

**Nombre del director o directores**

**UNIVERSIDAD SERGIO ARBOLEDA**

**ESCUELA DE CIENCIAS EXACTAS E INGENIERIA (ECEI)**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

***3. ÍNDICE GENERAL***

***4. OTROS ÍNDICES (incluye índices de tablas, figuras, anexos, entre otros).***

***5. AGRADECIMIENTOS Y RECONOCIMIENTOS.***

***6. RESUMEN/ABSTRACT:*** Presentación precisa pero general de la importancia del desarrollo del proyecto, el problema a desarrollar o investigar, los objetivos, la metodología o experimentación a utilizar y los resultados hallados.

***7. PALABRAS CLAVE/KEY WORDS:*** Relatividad general, gravedad, espacio-tiempo, leyes de Newton

***8. INTRODUCCIÓN:***

El 25 de noviembre de 1915 el científico alemán Albert Einstein presentaba a la Academia Prusiana de las ciencias un artículo llamado Las ecuaciones de campo de la gravitación (Die Feldgleichungen der Gravitation) en el cuál presentaba las diez ecuaciones que sustentarían la teoría de la relatividad general. Esta teoría fue desarrollada teóricamente y comprobada en la expedición liderada por Arthur S. Eddington durante el eclipse total de sol del 29 de mayo de 1919 con la trayectoria de Mercurio. Este suceso afamó mundialmente a Einstein no sólo por su exactitud sino también por poder explicar fenómenos que no se pueden describir con las leyes de Newton. Desde entonces se ha creado este campo de estudio y se ha tenido en cuenta estas correcciones respecto a la ley de gravitación de Newton. En este artículo vamos a determinar la diferencia en la posición de los cuerpos y objetos celestes pertenecientes únicamente al sistema solar con base en las dos posturas.

El efecto de la Relatividad General (GTR) en el sistema solar es principalmente la curvatura del espacio-tiempo, de esta manera el comportamiento de cualquier objeto másico o sin masa es alterado. Esta alteración en los cuerpos orbitales se define en el desplazamiento del perihelio, este artículo mostrará un contenido matemático que acreditará la ecuación de este desplazamiento, seguidamente la usaremos para resolver la magnitud de esta precesión de la órbita y compararla con la ley de Gravitación de Newton. Compararemos los diferentes planetas terminando con Mercurio, cuya precesión es la más llamativa. Seguidamente se realizará este mismo estudio para cuerpos que no orbitan el sol, pero están dentro del sistema planetario, se analizarán todos los resultados, se realizarán las simulaciones en MATLAB y se concluirá.

Se va a responder a la pregunta: ¿Cómo diferenciar la posición de un cuerpo u objeto celeste según los cambios de la teoría de la relatividad general a las leyes de Newton? Cumpliendo el objetivo general de Determinar los cambios en la posición que predice la teoría de la relatividad en los planetas y otros cuerpos celestes del sistema solar con respecto a la visualización desde la tierra y más específicamente, verificar los cambios de la posición de los planetas del sistema solar según la ley de gravitación de Newton y la teoría de la relatividad general, describir el comportamiento del campo gravitatorio relativista según su distancia del sol, examinar los diferentes comportamientos que pueden tener los objetos astronómicos de menor tamaño y medir esta diferencia entre las dos posturas.

**9. MARCO DE REFERENCIA:**

La investigación se fundamenta teniendo en cuenta dos posturas, la gravitación universal de Newton y la relatividad general de Einstein, La ley de gravitación de gravitación de Newton determina que la fuerza de atracción entre dos cuerpos celestes es:

Donde es la constante de gravitación universal, la cual tiene un valor de , y son las masas de los cuerpos, es la distancia entre los cuerpos y el signo menos es debido a que es una ley de atracción.

Esta atracción planetaria se hace inmediatamente y sin efectos de retardo, lo cual va en contra de la primera ley de la relatividad, la cual afirma que no hay nada más rápido que la velocidad de la luz.

Por su parte, el físico Albert Einstein para solucionar este inconveniente con su primera contribución crea la teoría de la relatividad general, esta afirma que los objetos de gran masa deforman el espacio-tiempo. Para estos aportes es necesario el cálculo tensorial y la geometría diferencial ya que los vectores no serían suficientes para describirla, está descrita de la siguiente manera:

Donde es el tensor de curvatura de Einstein, es el tensor momento-energía, es la constante de gravitación universal y es la velocidad de la luz.

En 2012 se publicó un artículo donde se comparaban estas dos posturas dándole mayor importancia a los fenómenos electromagnéticos y a os púlsares (Arbab, 2012), en esta modificaron la ley de Newton para dar similares resultados a los de la relatividad general.

**10. METODOLOGÍA/MARCO METODOLÓGICO**

Dinámica celeste:

Las leyes de Kepler predecían el comportamiento de los cuerpos celestes, determinaban que los planetas no giraban en círculos sino en elipses con su foco en la estrella pero Newton con la ecuación de gravitación universal llegó más lejos, explicó las leyes de Kepler y predijo otros comportamientos dependiendo únicamente de la masa de los objetos, la distancia entre sí, una constante de gravitación universal y unas condiciones iniciales.

Supongamos el caso de un planeta que gira alrededor de una estrella fija.

Fig 1. Diagrama planeta (verde) estrella (amarillo)

La ley de gravitación de Newton afirma que:

La fuerza de atracción que experimenta un cuerpo hacia otro el proporcional al producto de las dos masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.

La constante de gravitación G vale en todos los casos:

La masa uno será la masa de la estrella y la masa dos la del planeta.

La distancia entre los dos cuerpos r es:

La segunda ley de Newton establece que la fuerza es el producto de la masa por la aceleración:

Este valor m es la masa del planeta.

La fuerza que experimenta el planeta en el eje x es:

Y en el eje y es:

Por lo tanto aplicando esto tenemos que:

Con este sistema de ecuaciones diferenciales de segundo orden se puede determinar la trayectoria de cualquier planeta con alta precisión. Como se puede ver la masa del planeta no es relevante para su desplazamiento.

Factor de escala

Si se realiza una simulación de la órbita del planeta tierra alrededor del sol y la simulación examina la posición cada segundo, entonces para simular un año terrestre se contaría con más de 30 millones de muestras, eso es un número bastante alto e innecesario para estos casos. De igual manera con la distancia, la distancia media del planeta tierra al sol es de 149.597’870.700 metros, así que se mantendrá un factor de escala, ahora la distancia será medida en unidades astronómicas (1 UA equivale a la distancia media entre el sol y la tierra, la gran cifra que acabamos de ver) y el tiempo ahora se contará en años, estos ajustes serían de la siguiente manera:

A partir de la primera ecuación del sistema tenemos que:

Hacemos un reemplazo de todas las “x” por Lx, todas las “y” por yL y todos los tiempos por tP:

El factor lo llamaremos factor de escala, donde sabemos que G es la constante de gravitación universal, P es el periodo de la órbita y L la distancia media al sol.

***11. RESULTADOS Y DISCUSIÓN:*** presentación clara y sintética, pero completa de los datos recolectados, de tratamiento (estadístico, informático, etc.) y experimentales obtenidos durante el desarrollo de su solución. Deben expresar el nuevo conocimiento que se aporta al mundo.

Se acompañan de tablas, gráficas, dibujos, figuras, fotos, textos, etc. (con títulos claros y breves) acompañados en cada caso por una descripción analítica.

En la discusión se realiza la presentación del significado, alcance y limitaciones de los resultados, de las cuestiones descubiertas y de aquellas sin resolver que se plantearon al principio del trabajo. Además de su comparación con los resultados esperados de la misma.

Se recomienda incluir resultados y discusión en un solo apartado, sin embargo es decisión del estudiante si prefiere separar los resultados de la discusión en dos puntos diferentes.

***12. CONCLUSIONES:*** resumen de los resultados, en el que se presentan las aportaciones originales que surgen de la investigación.

Nunca se deben incluir en las conclusiones aspectos no planteados inicialmente, no estudiados o no discutidos.

***13. PROSPECTIVAS DE FUTURO:*** Sugerencias de cara a futuras investigaciones encaminadas a resolver nuevos problemas que pueden haber surgido de la investigación. Oportunidades de mejora de su diseño o desarrollo del resultado

**14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:**

Arbab, A. I. (2012). The generalized Newton’s law of gravitation versus the general theory of relativity. *Journal of Modern Physics*, *03*(09), 1231-1235. https://doi.org/10.4236/jmp.2012.329159

**15. ANEXOS.**

**El envío del documento final de proyecto de grado se enviará en formato Word a la dirección de la persona encargada de la recepción de proyectos de grado del programa de Ingeniería Ambiental para su evaluación. Una vez se haya realizado la sustentación de la tesis, y por parte del estudiante se realicen los ajustes pertinentes, el documento final se presentará de forma digital (tres cd´s marcados con el nombre de la tesis, nombre del estudiante, fecha de finalización y nombre de la maestría).**