



**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA
NACIONAL**

Educadora de educadores

**EL JUGUETE DE EINSTEIN: UNA EXPERIENCIA QUE PERMITE
EVIDENCIAR EL PRINCIPIO DE EQUIVALENCIA EN EL AULA**

ERICK RODOLFO ORTIZ IBÁÑEZ

Cód:2008246056

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

28 DE MAYO 2013

BOGOTÁ D.C.

**EL JUGUETE DE EINSTEIN: UNA EXPERIENCIA QUE PERMITE
EVIDENCIAR EL PRINCIPIO DE EQUIVALENCIA EN EL AULA**

ERICK RODOLFO ORTIZ IBÁÑEZ

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

Directores del trabajo:

M.Sc. Giovanni Cardona Rodríguez

M.Sc. Ignacio Alberto Monroy Cañón

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

28 DE MAYO 2013

BOGOTÁ D.C.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL Relatividad de la Educación	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 1 de 3	

1. Información General	
Tipo de documento	Trabajo de Grado
Acceso al documento	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
Título del documento	El Juguete De Einstein: Una Experiencia Que Permite Evidenciar El Principio De Equivalencia En El Aula.
Autor(es)	ORTIZ IBAÑEZ, Erick Rodolfo
Director	Giovanni Cardona Rodríguez; Ignacio Alberto Monroy Cañón
Publicación	Bogotá D. C, Universidad Pedagógica Nacional, 2013, 47 p.
Unidad Patrocinante	Universidad Pedagógica Nacional-Bogotá
Palabras Claves	Juguete de Einstein, Principio de Equivalencia, Relatividad General, Experiencia y Educación, Aprendizaje Basado en Problemas

2. Descripción
El Juguete de Einstein es un artefacto el cual propone un problema, que se debe solucionar, consiste en un objeto atado de un extremo de una banda elástica, el otro extremo se encuentra atado al fondo de una copa y/o lata, la idea es introducir el objeto dentro de la copa, sin tocarla o usar algún elemento. Albert Einstein le dio solución enunciado que si se cumple el Principio de Equivalencia el objeto se introducirá dentro de la copa. Este principio fue la piedra angular para la formulación de la Teoría General de la Relatividad la cual describe la utilización de las leyes físicas para marcos acelerados y una nueva concepción acerca de la gravedad. Esta teoría fue una de las más influyentes en el siglo XX por tal motivo se propone la enseñanza del Principio de Equivalencia en el aula de grado undécimo, para persuadir a los estudiantes sobre los avances que ha tenido las teorías físicas y que estas no solo tratan hasta la era de Newton. Se introduce un modelo de enseñanza haciendo uso de la asociación entre El Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) y la teoría de John Dewey la Experiencia como Educación, por medio de estos modelos y aplicándolos al Juguete de Einstein, se lleva la estudiante de básica secundaria la enseñanza de este principio y cuál fue su importancia para la física, haciendo al estudiante parte activo en su proceso de formación académica.

3. Fuentes
Canedo, X. (2007). Enseñanza de la Física mediante el uso de juguetes. <i>Revista Boliviana de Física</i> (13), 166-167. Dewey, J. (1958). Experiencia y Educación 6^{ta} y 9^{na} Ed. Buenos Aires: Losada, S. A. Díaz Barriga, F. (2005). El aprendizaje basado en problemas y el método de casos. En <i>Enseñanza situada: Vínculo entre la escuela y la vida</i> (pág. Capítulo 3). México: McGraw Hill. Dueñas, V. H. (2001). El aprendizaje basado en problemas como enfoque pedagógico en la educación en salud. <i>Colombia Medica</i>, 32, 189-196. Einstein, A. (1907). <i>On the relativity principle and the conclusions drawn from it</i>. Recuperado el 3 de Enero de 2012 de: http://pitt.edu/~jdnorton/teaching/GR&Grav_2007/pdf/Einstein_1907.pdf Einstein, A. (1911). <i>On the influence of gravitation on the propagation of light</i>. Recuperado el 10 Diciembre de 2012 de: http://qss.stanford-edu/~godfrey/physics/Einstein_On_teh_Influ_of_Grav_on_Light.pdf

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL Revolución de la Educación	FORMATO	
RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE		
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 2 de 3	

Florez, V. J. (1997). El Principio de Equivalencia. En *La Ondas Gravitacionales. La Gran Ilusión III*. (págs. 71-77).

Ministerio de Educación Nacional. (2006). *Estándares Básicos de Competencias en lenguaje, Matemáticas, Ciencias y Ciudadanas*. Obtenido de: <http://www.mineduacion.gov.co/cvn/1665/article-116042.html>.

Rojo Asenjo, O. (1990). *Sobre la enseñanza de la física*. Aula Abierta (55), 37-43.

Tejeiro Sarmiento, J. M. (2005). Ley de gravitación universal. En *Notas de Clase, Principio de Relatividad General* (págs. 83-87). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias.

Valero, M. (1982/2005). *Física 1* 8^{va} reimpresión, Editorial Norma.

Weinberg, S. (1972). *Gravitation and Cosmology: Principles and Applications of the General Theory of Relativity*. (págs. 11-15; 67-79). New York London Sydney Toronto: John Wiley & Sons, Inc

Wong, C. Youn, S. & Yasui, K. (2006). Two falling-chain demonstration based on Einstein's equivalence principle. *Department of Physics and Astronomy, University of California*.

4. Contenidos

El presente documento está conformado por 5 capítulos, para la mejor comprensión del lector del tema y la enseñanza que se propuso al llevar el Juguete de Einstein y el Principio de Equivalencia al aula, estos capítulos están conformados de la siguiente manera: El primero hace referente al marco teórico, allí se explica lo concerniente al Principio de Equivalencia y su importancia para la Relatividad General. El capítulo dos Juguete de Einstein, se encuentra todo lo relacionado con el juguete, su historia, su construcción, como logra explicar el Principio de Equivalencia y un análisis físico. En el tercer capítulo compete al marco pedagógico, allí se aclara cual es el enfoque del Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) y la Experiencia como Educación, finalizando cual es el beneficio de mezclar estos dos modelos. El capítulo cuarto incumbe la metodología de investigación, la población estudiantil y la propuesta de la ruta de enseñanza del Principio de Equivalencia para el aula por medio del modelo pedagógico referente al capítulo anterior y por último el capítulo quinto, donde se presenta toda la parte de la Implementación, los resultados y análisis conseguidos al llevar el Juguete de Einstein al aula de básica secundaria.

5. Metodología

La metodología de investigación es conocida como enfoque o método empírico-analítico y se encuentra dentro de una investigación cualitativa. El componente analítico se encierra en una construcción conceptual y al análisis cuantitativo de los resultados obtenidos al momento de la implementación hacia los estudiantes. El componente empírico se encierra en la estrategia pedagógica, en la mezcla del ABP y de la Experiencia como Educación, se elaboraron unas guías de acompañamiento para el estudiante y estas guías se formularon bajo ensayo y error durante dos semestres llevándolas al aula observando el interés de los estudiantes al resolverlas y así llegar a una guía final para aplicar lo concerniente al Principio de Equivalencia.

La implementación del Juguete de Einstein y de las guías finales de acompañamiento se llevaron en la Institución Educativa Distrital Escuela Nacional de Comercio, para estudiantes de grado undécimo, un total de 68 estudiantes conformado entre hombres y mujeres, las edades de ellos conformaban un 59% de 16 años, el 28% de 17 años, 9% de 15 años, 3% de 18 años y un 1% de 19 años.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL Excellence in Education	FORMATO		
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE		
Código: FOR020GIB	Versión: 01		
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 3 de 3		

6. Conclusiones
• A partir del objetivo general del trabajo se pudo proponer una ruta metodológica para la enseñanza del PE en el aula de básica secundaria por medio del Juguete de Einstein y justificar la enseñanza de física moderna, las guías llevadas al aula permitieron llevar al estudiante a la comprensión del Principio de Equivalencia. • Los resultados obtenidos confirman que al momento de llevar una ruta específica, planeada, con modelos cognitivos y con juguetes y/o artefactos se ayuda al estudiante en el entendimiento del tema, por lo tanto es posible llevar a las aulas temáticas de la física moderna. • Durante la implementación en los salones de clase, a los estudiantes no se les proporciono ningún libro, solo las guías elaboradas y el juguete. Así se logró que utilizando el modelo ABP y sus experiencias construyeran su propio conocimiento. • Por medio de los modelos pedagógicos usados y la construcción del juguete se logró que los estudiantes entre sus grupos de trabajo desarrollaran debates y formularan soluciones efectivas que concernieran al PE, dando validez al ítem 6 del ABP donde el aprendizaje se produce en grupos pequeños, de igual manera aprobando la teoría deweyana, donde por medio de experiencias reales y círculos sociales que envuelven el mismo problema se ayudan a la educación del individuo. • Aunque esta ruta se llevó a los grados de undécimo, se evidencia que en un gran porcentaje los estudiantes comprendieron el PE sin antes haber tenido conocimiento de ello, esto nos lleva a planear metodologías de enseñanza para y desde grados inferiores, para cuando lleguen a una etapa de madurez tenga conocimientos más claros y profundos acerca de la ciencia, así los jóvenes lleguen a ser un generadores activos en el avance científico del país.

Elaborado por:	ORTIZ IBAÑEZ, Erick Rodolfo
Revisado por:	Ignacio Alberto Monroy Cañón

Fecha de elaboración del Resumen:	28	05	2013
--	----	----	------

Agradecimientos

Aunque tengo una diferente concepción acerca de dios, le agradezco a mi manera, que esa energía que me hacía generar al creer en un ser superior, me dio fuerzas para culminar este logro en mi vida académica y profesional.

Le agradezco a mi Señora Madre M^a Elena por apoyarme incondicionalmente y por los grandes esfuerzos que tuvo que hacer para que yo tuviera la oportunidad de ingresar a una Universidad y culminar mis estudios de pregrado. Así mismo a mis hermanos Alejandro, Carolina y Jefferson por colaborarme para que alcanzara mis sueños.

A mi compañero Francis, con quien ingresamos en el mismo periodo y desde allí luchamos por sacar adelante nuestra carrera, la cual hoy logramos culminar y a Greizzy quien soporto mis angustias y estrés durante lo largo de mi carrera y me colaboró con la redacción del presente documento.

Al docente Giovanni director principal del trabajo de grado, quien me asesoro y me brindo su experiencia profesional desde el inicio de esta investigación. Así mismo a todos los docentes que de una u otra forma infirieron en mi crecimiento académico.

Por ultimo a mis compañeras con las que compartimos toda la carrera, risas y alegrías, Carolina, Andrea y Yessica

Dedicatoria

*Mi trabajo y esfuerzo se la dedico a la memoria de mi señor Padre IT. Oscar Ortiz, que por la intolerancia y violencia que existe en este país, no puede compartir en vida este logro que hoy
hé alcanzado.*

Tabla de Contenido

Agradecimientos	I
Dedicatoria	II
INTRODUCCIÓN	1
Planteamiento del problema	2
Antecedentes	3
Justificación	5
Objetivos	8
Objetivo General	8
Objetivos Específicos	8
1. Marco Teórico	9
1.1. Principio de Equivalencia (PE)	9
1.1.1. La igualdad masa inercial y gravitacional	9
1.1.2. Principio de Equivalencia Débil (PED)	12
1.1.3. Principio de Equivalencia Fuerte (PEF)	13
1.1.4. Explicación de la curvatura de la luz desde el PE	15
1.1.5. Conclusión	16

2. Juguete de Einstein	17
2.1. Historia del Juguete de Einstein	17
2.2. Solución del Juguete	18
2.3. Análisis Juguete de Einstein	20
2.3.1. Conclusión	22
3. Marco Pedagógico	23
3.1. Aprendizaje Basado en Problemas (ABP)	24
3.2. Experiencia y Educación	25
3.3. Estrategia pedagógica al componer el ABP con la Experiencia y Educación	26
4. Metodología	28
4.1. Método de Investigación	28
4.2. Descripción de la Población	29
4.3. Propuesta Ruta Metodológica	30
5. Implementación y Análisis	32
5.1. Etapa 1	32
5.1.1. Conclusión Etapa 1	37
5.2. Etapa 2: Experiencia	37
5.2.1. Conclusión Etapa 2: Experiencia	40
5.3. Etapa 3: Fundamentación I	41
5.3.1. Conclusión Etapa 3: Fundamentación I	44
5.4. Etapa 4: Principio de Equivalencia (PE)	44

5.4.1. Conclusión Etapa 4: Principio de Equivalencia	46
Conclusiones.	47
Bibliografía	48
Anexos	54

INTRODUCCIÓN

En 1907 Albert Einstein en su artículo *On the relativity principle and conclusions drawn from it*¹ en la sección *V. Principle of Relativity and Gravitation* expone que: “se asumirá por completo la equivalencia física de un campo gravitatorio y la aceleración... esta suposición se basa en el hecho de que permite la sustitución de un campo gravitatorio homogéneo por un sistema de referencia acelerado, siendo este último accesible para el tratamiento teórico”. Luego de cuatro años en su artículo de 1911 *On the influence of gravitation on the propagation of light*² en la sección *I. A hypothesis as to the Physical Nature of the Gravitational Field* expone que: “En reposo un campo gravitatorio homogéneo, a partir de la experiencia que todos los cuerpos son por igual y uniformemente acelerados... llegamos a una interpretación muy satisfactoria si asumimos que K y K' son físicamente exactamente equivalente”. Estos dos artículos de gran importancia donde se presenta lo que hoy conocemos como el Principio de Equivalencia (PE) y los cuales le sirvieron a este Físico para la formulación de la Teoría General de la Relatividad (TGR).

El Principio de Equivalencia hace hincapié a la Teoría General de la Relatividad, este principio permite una explicación sencilla de la igualdad de masa inercial y gravitacional, de cómo un sistema no-inercial -caída libre- localmente puede ser considerado como sistema de referencia inercial, la equivalencia de la gravitación con un sistema uniformemente acelerado y revela de cómo es posible la curvatura de la luz en presencia de un campo gravitacional, este último lo presento Einstein en su artículo de 1911. Es importante resaltar que el presente trabajo no es realizar un estudio profundo de la TGR, al contrario, es dar una explicación del PE y de cómo poder presentarlo en el aula por medio del Juguete de Einstein.

Este Juguete fue obsequiado por Eric Rogers a Einstein, el cual consiste en una esfera atada a

¹El artículo original se encuentra en alemán titulado “Über das Relativitätsprinzip um die aus demselben gezogenen Folgerungen”; se encuentra una traducción en inglés de la sección V por vía web. Ver bibliografía.

²En alemán *Lichtgeschwindigkeit in Statik des Gravitationsfeldes*, traducido al Inglés. ver bibliografía.

un extremo de un resorte y el otro extremo se encuentra atado al fondo de una copa, la finalidad del juguete consistía en introducir la esfera dentro de la copa sin tocarla (figura 2.1a), Einstein lo resolvió enunciando, que si se cumple el principio de equivalencia la esfera se introducirá dentro de la copa; en el capítulo 2 se especificara los detalles del juguete.

Por lo tanto en el primer capítulo del presente trabajo de grado se desarrollara el marco teórico allí se explicara lo concerniente al Principio de Equivalencia, iniciando con la explicación de la igualdad de masa inercial y gravitacional, el principio débil y fuerte de equivalencia, finalizando con una breve explicación de cómo es la curvatura de la luz por un campo gravitacional. El segundo capítulo tratara sobre el Juguete de Einstein, la funcionalidad del juguete, de donde nace, como logra explicar el Principio de Equivalencia y como es la construcción de este artefacto. El tercer capítulo se expondrá la enseñanza de las ciencias desde la experiencia por medio del Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) para su mejor comprensión. El cuarto capítulo se expondrá la metodología y la propuesta de la ruta de enseñanza del PE para la educación básica secundaria y por último el capítulo 5 se presenta la implementación, resultados y análisis conseguidos al llevar del Juguete de Einstein al aula.

Con el presente trabajo se pretende evidenciar que es posible la enseñanza de temas de física moderna en el aula sin tanta rigurosidad matemática y por medio de herramientas y/o artefactos, como el juguete, para atraer la atención de los estudiantes de básica secundaria.

Planteamiento del problema

En el momento de introducir la Teoría General de la Relatividad (TGR) se presenta un tema específico para iniciar el aprendizaje de ésta, el cual es, el Principio de Equivalencia. Algunos autores de textos, como: -(Pauli, 1921), (Weinberg, 1972), (D’Inverno, 1992), (Hartle, 2003), (Sarmiento Galán , 2004), (Serway, Moses, & Moyer, 2005), (Giancoli, 2009)-, dedican una cierta cantidad de páginas a la explicación de este principio.

Pero la explicación que se expone en esas páginas requiere un nivel de conocimiento y comprensión en la parte conceptual matemática y física que en la educación básica secundaria no se presenta, en esta etapa de la educación los estudiantes están dando sus primeros pasos hacia la comprensión de la física tal como lo evidencian los estándares básicos de competencias en cien-

cias sociales y ciencias naturales (*Ministerio de Educación Nacional, 2006*); para llegar al manejo conceptual que se presentan en los libros anteriormente mencionados se requiere un proceso de formación física y matemática más avanzada que el que se enseña en la escuela, actualmente estos temas se proporcionan en programas de pregrado de Física, Licenciaturas en Física, Matemáticas e Ingenieras.

Debido a la complejidad conceptual, matemática y física evidenciada en estos textos sobre el principio de equivalencia, pedagógicamente no es la adecuada para llevarlo al aula de secundaria porque posiblemente los estudiantes no se interesan por el tema por su formulación matemática. John Dewey (1859-1952) filósofo, pedagogo y psicólogo estadounidense “*rechaza el modelo de la ciencia que sólo se basa en la rigurosa demostración matemática, aún en la Física y en la Matemática porque restringen su parte científica únicamente a la demostración matemática*” (Osorio, D. Osorio. A, Velasquez. L, & Zuluaga. O, 1993).

Por tal motivo, lo mencionado con anterioridad forma la concepción de que no es posible enseñar el principio de equivalencia en el aula de básica secundaria, es de allí donde surge la pregunta problema del presente trabajo ***¿Cómo lograr por medio del Juguete de Einstein evidenciar el principio de equivalencia en el aula?*** Con base a este interrogante se buscó plantear una ruta metodológica que lleve al estudiante a la comprensión del PE por medio del Juguete de Einstein, sin la necesidad de tener conocimientos físicos más concretos y sin tanta rigurosidad matemática como en la que se evidencia en los libros de TGR.

Antecedentes

Esta sección recopila y evidencia algunos artículos y/o diferentes documentos que exhiben el principio de equivalencia (PE) y del Juguete de Einstein, justificando si se ha presentado o elaborado algún aporte hacia la enseñanza y a la comprensión por parte de los estudiantes de este tema de la física moderna.

Primero mencionaré tres artículos, estos evidencian la importancia de la enseñanza de la física de una manera didáctica, logrando persuadir al estudiante por medio de artefactos o juguetes que desarrollen un interés por el aprendizaje de las ciencias físicas. Estos tipos de juguetes son accesibles y de construcción sencilla evidenciando principios físicos que pueden ser útiles en el aula para la

comprensión de alguna teoría.

Artículos como:

- Güémez, J. Fiolhais, C. Fiolhais, M. (2009). *Toys in physics lectures and demonstrations- abrief review. Physics Education*, 44, (1), pp. 44-53.
- Barbosa, L. (2008). *Los Experimentos Discrepantes en el aprendizaje activo de la Física. Latin-American Journal of Physics Education*, pp 246-252,
- Canedo, X. (2007). *Enseñanza de la física mediante el uso de juguetes. Revista Boliviana de física*, 13, pp. 166-167.

En segunda instancia indicare dos artículos el cual analiza algunos experimentos que evidencian y explican el Principio de Equivalencia, sin embargo son documentos los cuales no describen algún fin pedagógico hacia la enseñanza de este tema para estudiantes de secundaria.

Los artículos son:

- Güémez, J. (2007). *Física de juguetes y dispositivos sencillos. Principio de Equivalencia de Einstein*, p. 1-9.
- Güémez, J. (2007). *Física de juguetes y dispositivos sencillos. Caída libre de un muelle. Departamento de Física Aplicada, Universidad de Cantabria. p. 1-6*

Por ultimo mencionaré un artículo que trata sobre el juguete de Einstein el cual evidencia una explicación el juguete, la función de la banda elástica y el Principio de Equivalencia. De igual manera como en los artículos anteriores no evidencia alguna aplicación pedagógica o desarrollo conceptual para su inclusión en el aula de básica secundaria.

- Wong, C. Youn, S. & Yasui, K. (2006). *Two falling-chain demonstrations based on Einstein's equivalence principle. Department of Physics and Astronomy, University of California, Los Angeles.*

En los textos que se han consultado para la presente investigación y estudien la Teoría General de la Relatividad (TGR), introducen el PE, algunos libros de texto ya se presentaron en el planteamiento

del problema. Los artículos anteriores utilizan artefactos y/o juguetes donde ayudan a explicar un concepto físico y como estos artefactos atraen el interés de los estudiantes hacia la ciencia, por supuesto a la física. Aunque es claro que no muestra si el Juguete de Einstein fue utilizado por un grupo de estudiantes o docentes para la explicación del PE. Por lo tanto el presente trabajo busca introducir la enseñanza del PE por medio del juguete en la educación básica secundaria.

Justificación

A lo largo de la historia, la física ha tenido transformaciones, de la Aristotélica a la Newtoniana, de la Newtoniana a la de Einstein (Alemañ Berenguer & Pérez Selles, 2000), pero estos cambios no solo se deben a los conceptuales como lo señalan Alemañ & Pérez sino también a las explicaciones de algunos fenómenos que las teorías propuestas no logran completar, por ejemplo en la caída de los cuerpos; Esta caída no depende de la cantidad de masa, es decir que si dos cuerpos de diferente masa son soltados en un espacio libre “el vacío” caen exactamente igual, hipótesis propuesta por Galileo (1564-1642) y contraria a la aristotélica donde mencionaba que la de mayor masa caía primero.

Galileo también mencionaba que un cuerpo permanece en reposo -masa inercial- hasta que algo actuaba sobre dicho cuerpo, se mantenía con velocidad constante, por lo tanto -en caída libre algo sucedía y atraía a las masas para que ambas cayeran de la misma manera, al mismo tiempo y con la misma aceleración- hecho que es justificado por Isaac Newton (1642-1727) donde plantea que existe una fuerza gravitacional que actúa instantáneamente, esta fuerza es generada por la masa y a mayor masa mayor atracción gravitacional, -mayor masa atrae a otro de menor masa-, surge la idea de masa gravitacional junto con Ley Universal de Gravitación, y para lograr explicar que dos cuerpos de diferente masa se aceleran de la misma manera Newton matemáticamente concibe que tanto la masa inercial y gravitacional son el mismo ente, sin lograr dar una explicación más clara. Fue hasta la formulación de Einstein sobre el Principio de Equivalencia que se comprendió físicamente la igualdad de estas masas, explicación que se mostrara en el marco teórico del presente documento.

Aunque el presente documento no trata solo de la igualdad de las masas, al contrario este es un resultado que es aclarado por el Principio de Equivalencia -contenido teórico del documento- principio que de igual manera trata de la equivalencia de un sistema acelerado y un campo gravitacional fundamentando una nueva teoría de gravitación que es conocida como Teoría General de

la Relatividad.

En algunos libros de texto como: (Serway & Jewett Jr, 2005)³ , (Giancoli D. , 2006)⁴ , no aclaran los temas mencionados anteriormente, ilustran expresando que la aceleración $\vec{a}$ que tiene un cuerpo cuando se encuentra en movimiento rectilíneo depende de la cantidad de masa y fuerza aplicada, caso contrario a la caída libre donde $\vec{a}$ es cambiada por la aceleración gravitacional $\vec{g}$, simplemente mencionando que todos los cuerpos, sin importar la cantidad de masa, son acelerados de la misma forma en caída libre y no aclaran de donde viene ello, de la misma manera exponen un problema de un ascensor que consiste en una báscula y una persona u objeto sobre ella, al acelerar el ascensor hacia arriba el peso que marca la báscula aumenta y si se acelera hacia abajo el peso disminuye, hasta ahí llegando la explicación y no dan importancia que al acelerar hacia abajo o al caer un objeto, este no siente su propio peso, lo que *Einstein denominó la idea más feliz de su vida* (Peña, 2003), dándole inicio al Principio de Equivalencia Débil

Un acercamiento sobre el Principio de Equivalencia lo tiene el libro de texto para básica secundaria (Valero, 2005)⁵, donde proponen el Juguete de Einstein⁶ haciendo una explicación muy general del principio y así mismo del juguete; nuevamente como se ha venido mencionando pasan por alto la importancia que este tema tiene para la física moderna en especial para la relatividad general.

Se evidencian libros de texto donde presentan el Principio de Equivalencia menospreciando el valor de éste para la física moderna; en lo que se refiere al conocimiento de los estudiantes según los Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Sociales y Ciencias Naturales (2006), una de las competencias básicas al finalizar secundaria es “*establecer relaciones entre el modelo del campo gravitacional y la ley de gravitación universal*”, por lo tanto, esta relación solo es enfocada a la newtoniana y no ilustra la de Einstein, quien da una nueva teoría de gravitación, proponiendo que esta se debe a la presencia de materia que curva el espacio-tiempo y a la vez también cambia la trayectoria de la luz, hecho que se comprobó en el eclipse de sol de 1919 y que se puede explicar por medio del PE; por lo tanto es necesario enseñar teorías de física moderna y no solo hablarle al estudiante las de la física clásica, no hay que desconocer los avances que han existido en la física, si deseamos que los estudiantes tengan un conocimiento acerca de ella, así que “*hay que preparar al*

³Física para Ciencias e Ingenierías, Volumen 1.

⁴Física. Principios y Aplicaciones.

⁵Física I. 8va Reimpresión

⁶El diseño planteado en el libro es el mismo que se implementó en el aula para esta investigación, de igual manera se dedicará un capítulo a la explicación de este juguete.

joven para las futuras responsabilidades y para el éxito de la vida, por medio de la adquisición de los conjuntos organizados de información y de las formas preparadas de destreza que presentan las materias” (Dewey, 1958).

En cuanto a la enseñanza del Principio de Equivalencia no es introducirlo y hacerlo como la educación tradicional por medio de clases magistrales, *“La enseñanza de la física debe ser, hasta donde ello sea posible, activa y experimental. La observación de un fenómeno y su explicación convincente, a partir de principios o leyes físicas aceptadas, es de mayor valor que rellenar una pizarra con fórmulas, o la cabeza con nombres y frases que poco significan” (Rojo Asenjo, 1990).* Por lo tanto se recurrió a unas pautas de metodologías de enseñanza ya planteados anteriormente, -se escogió algunos segmentos de estos métodos para así lograr el objetivo final del presente documento- uno de estos es *El Aprendizaje Basado en Problemas (ABP)* un enfoque pedagógico empleado en la década de 1960 en la Escuela de Medicina de la Universidad de *Case Western Reserve* en Estados Unidos (Dueñas, 2001) es una estrategia de enseñanza-aprendizaje en la que tanto la adquisición de conocimientos como el desarrollo de habilidades y actitudes resulta importante, en el ABP primero se presenta el problema, se busca la información necesaria y finalmente se regresa al problema (Dirección de Investigación y Desarrollo Educativo). Luego nos apoyamos en la teoría pedagógica de John Dewey basada en *“aprender haciendo” (Enciclopedia Práctica de Pedagogía)* y en el texto experiencia y educación donde propone que *“la unidad fundamental de la nueva pedagogía se encuentra en la idea de que existe una íntima y necesaria relación entre los procesos de la experiencia real y la educación” (Dewey, 1958).*

Acoplando estos modelo pedagógicos con el juguete de Einstein se puede generar una atención por parte de los estudiantes al estudio de la física *“la utilización de juguetes, por su flexibilidad, sencillez de uso y bajos costos; la relevancia de los juguetes en el procesos de enseñanza-aprendizaje es notable por motivar a los estudiantes al aprendizaje de los principios físicos” (Canedo, 2007).* Llevando al estudiante a la construcción, modelación y explicación del juguete y del PE debido que *“Un modelo puede entenderse como un sistema figurativo mental, gráfico o tridimensional que reproduce o representa la realidad en forma esquemática para hacerla más comprensible. Es una construcción o artefacto material o mental, un sistema –a veces se dice también “una estructura”– que puede usarse como referencia para lo que se trata de comprender; una imagen analógica que permite volver cercana y concreta una idea o un concepto para su apropiación y manejo” (Ministerio de Educación Nacional, 2006).*

Finalmente el presente documento resalta la posibilidad de enseñar teorías físicas modernas, sin recurrir a clases monótonas y haciendo al estudiante parte activo en su proceso de formación.

Objetivos

Objetivo General

Proponer una ruta metodológica de enseñanza-aprendizaje para que el estudiante llegue al entendimiento del principio de equivalencia por medio del Juguete de Einstein.

Objetivos Específicos

- Indagar los conocimientos previos que tienen los estudiantes sobre los temas que encierra el principio de equivalencia como: aceleración y aceleración gravitacional.
- Establecer, realizar y aplicar guías de acompañamiento que presenten temas específicos de física que permitan desarrollar un pensamiento analítico en los estudiantes en cuanto a sistemas acelerados y caída libre, para que apliquen el juguete y así llega a la explicación del principio de equivalencia débil.
- Exponer la equivalencia entre un sistema acelerado y un campo gravitacional para la comprensión del principio de equivalencia por medio de una guía.
- Analizar los conceptos adquiridos del Principio de Equivalencia por parte del estudiante a partir de las respuestas consignadas en las guías de acompañamiento.

Capítulo 1

Marco Teórico

1.1. Principio de Equivalencia (PE)

Einstein antes de publicar el artículo de 1907, se encontraba en la oficina de patentes donde laboraba, allí realizó un experimento mental que en breves palabras trata de: *“si una persona cae libremente, no siente su propio peso”* años más tarde llamo a esto la idea más feliz de su vida, con la cual construyó la base del Principio de Equivalencia (Peña, 2003). Para la comprensión más sencilla del PE, se puede desarrollar en tres aspectos, la explicación de la igualdad de la masa inercial y gravitacional¹, el Principio débil y el Principio fuerte de Equivalencia. El presente capítulo proporcionará el esclarecimiento de estos temas para la comprensión del concepto físico que se llevó al aula y su importancia para la TGR.

1.1.1. La igualdad masa inercial y gravitacional

En la era griega, Aristóteles (384 a. C.) decía que los cuerpos más pesados caían más rápido que otros, es decir, una esfera de acero caía más veloz que una de madera, llegando al suelo primero la de acero que la de madera, el movimiento variaba respecto a cada masa, esta idea prevaleció hasta Galileo Galilei (1564-1642) que por medio de experimentos del plano inclinado y caída libre modificaba la afirmación aristotélica. Existe una historia donde él dejó caer dos cuerpos

¹En algunos sitios o textos como (Tejeiro Sarmiento, 2005. p. 85), exponen que la igualdad entre la masa gravitacional y inercial es una formulación del Principio de equivalencia Débil. En otros sitios esta igualdad es conocida como el Principio de Galileo (Torre, 2008. p. 287).

de diferente masa desde la Torre de Pisa, Italia, observando que aparentemente los dos cuerpos golpeaban el suelo al mismo tiempo, llegando a formular que en el vacío, los cuerpos caerían con la misma aceleración, hecho que se comprobó por el astronauta David Scott en la misión de la NASA Apolo 15 de 1971, dejando caer un martillo y una pluma sobre la superficie lunar observando que los dos golpeaban el suelo lunar al mismo tiempo, enunciando el astronauta “*el Sr. Galileo tenía razón*” (Barry, 2007); luego de unas décadas el matemático inglés Isaac Newton formuló que toda causa de un movimiento es debido una fuerza y si una masa cae libremente la fuerza que se ejerce sobre ella es una “fuerza gravitacional”.

Galileo y Newton tenían una concordancia, esta trata sobre como una masa permanecerá con velocidad constante o en reposo hasta que algo actúe, actualmente se conoce como la primera ley de Newton (Ley de Inercia), lo que actúa sobre la masa se le denomina como una fuerza, pero la fuerza que se aplique sobre la masa la aceleraría, de allí nace la segunda ley de Newton $F = m_i a$. Por lo anterior se puede concluir que la masa de la que se habla en estas leyes corresponde a una masa inercial m_i , la definición más coloquial del término m_i es: *la medida de todo cuerpo que se resiste al movimiento o ser acelerado al aplicarle una fuerza externa*; por ende al ejercer una misma cantidad de fuerza a dos objetos de diferente masa, el de más masa opondría mayor resistencia a ser acelerado, que el de menor masa, entonces si al dejar caer dos cuerpos de diferentes masas, que se les está aplicando la misma fuerza gravitacional, podríamos decir, que por lo anterior una se aceleraría más que otra, cayendo más rápido la de menor masa ya que obtiene menor oposición al movimiento y si esto fuera cierto la teoría de Galileo en donde explica que todos los cuerpos se aceleran de la misma forma en caída libre sin importar su masa, estaría mal planteada.

Por lo tanto si los cuerpos pesados y ligeros se aceleran bajo las mismas condiciones en el campo de gravedad terrestre (Florez, 1997) la masa no incidiría en un sistema de caída libre; Cuando Newton formula la Ley Universal de Gravitación dando una explicación al fenómeno de la gravedad, permitiendo predecir que existe una fuerza de atracción entre dos masas separadas a una distancia, esta fuerza de atracción es una propiedad de la masa, llamando a esta masa una *masa gravitacional* m_g . Acorde con la Ley Universal de Gravitación m_1 ejerce una fuerza sobre m_2 , por lo tanto m_g es: *la medida de la fuerza de atracción que experimenta un cuerpo dentro de un campo gravitatorio*, a mayor masa que contenga un cuerpo, mayor es su atracción gravitacional o campo gravitacional, por ejemplo la Tierra atrae a todas las masas menores que la de ella.

Conforme a las leyes de Newton toda masa posee una magnitud inercial y gravitacional, por

tal motivo los cuerpos se aceleran de la misma manera bajo la influencia de un campo gravitacional homogéneo, podemos considerar el siguiente ejemplo: La masa de la tierra genera una masa gravitacional M_{gT} y atrae a los demás cuerpos de menor masa que ella m_g , y se puede aplicar la ecuación de la Ley Universal de Gravitación.

$$F = G \frac{M_{gT} m_g}{r^2} \quad (1.1)$$

Donde G , es la constante de gravitación universal, r la distancia que separa los cuerpos, M_{gT} la masa del cuerpo que atrae al otro (Masa de la Tierra), es decir, el campo gravitacional y m_g la masa gravitacional del cuerpo que está siendo atraído²; Por la leyes de newton al cambiar de posición la masa se acelera pero al ser atraído también estaría presentando una oposición al movimiento, una m_i , por lo tanto para la aceleración de los cuerpos bajo un campo gravitacional tenemos que:

$$m_i a = G \frac{M_{gT} m_g}{r^2} \quad (1.2)$$

$$a = G \left(\frac{M_{gT}}{r^2} \right) \left(\frac{m_g}{m_i} \right) \quad (1.3)$$

Entonces si los cuerpos de diferentes masas se aceleran de la misma manera, no dependen de la masa, composición o forma, por lo tanto la relación $\frac{m_g}{m_i} \approx 1$, quedando

$$a = G \frac{M_{gT}}{r^2} \quad (1.4)$$

Dando las mismas condiciones iniciales a los cuerpos y bajo los efectos del mismo campo gravitacional la aceleración será la misma sin importar la masa, composición o forma, de estos cuerpos.

Roland von Eötvös siguiendo con las mismas hipótesis de la igualdad de la masa inercial y gravitacional y con los cálculos de Huygens (1629-1695), Friedrich Bessel (1784-1846) realiza un experimento en 1889 en donde evidencia que la relación $\frac{m_g}{m_i}$ no es diferente de una sustancia a otra; en el experimento suspendió dos pesas A y B de los extremos de una viga de $40cm$, suspendida en un hilo fino en su centro, los pesos casi iguales y si existiese cualquier desigualdad en la relación $\frac{m_g}{m_i}$ se producirá una torsión del hilo de donde se suspendió la balanza. No se detectó el giro y Eötvös llego a la conclusión de que esta diferencia de $\frac{m_g}{m_i}$ para la madera y el platino era menos de 10^{-9} .

²Para generalizar la ley universal de gravitación y para la mejor comprensión sobre la m_g y m_i , la masa gravitacional que genera el campo y atrae a los demás cuerpos es considerada como masa gravitacional activa, M_{gA} , y la que se deja atraer es llamada masa gravitacional pasiva m_{gP} , esta última es equivalente a la masa inercial m_i .

(Weinberg, 1972. pp. 11-13)

La igualdad de masa inercial y gravitacional es mencionada en el artículo de 1907 por A. Einstein en la sección *V. Principle of Relativity and Gravitation* expone: “que un cantidad de energía E corresponde una masa m de magnitud $\frac{E}{c^2}$, este no solo se mantiene para la inercial sino también para la masa gravitacional.”

1.1.2. Principio de Equivalencia Débil (PED)

Este principio se muestra como un ejemplo para el entendimiento del Principio de Equivalencia Fuerte (PEF)³. Como se ha mencionado anteriormente el PE se puede describir en un PED y PEF. El principio de Equivalencia Débil se lleva a cabo con las leyes de movimiento de partículas en caída libre, el cual no es nada más que una reafirmación de la igualdad observada de masa gravitacional e inercial (Weinberg, 1972).

Para la explicación de este principio recurrimos a la siguiente cita: “*En breves palabras tomadas del propio Einstein -si una persona cae libremente no siente su propio peso-; debido a que la masa inercial de los cuerpos es exactamente igual a su masa gravitatoria pues debido a ello todos los cuerpos se aceleran igual en un campo gravitatorio*” (Peña, 2003)

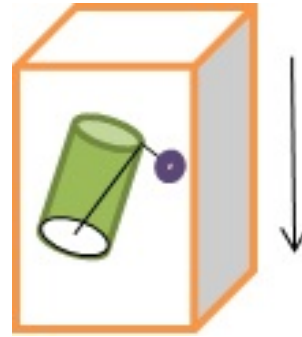
La idea central del principio débil es, cuando un objeto cae libremente, localmente no sentiría su peso se comportaría igual como en un espacio libre de gravitación. Es decir que una masa en un en espacio libre de gravitación localmente sentiría los mismos efectos como si se encontrara en caída libre bajo influencia de un campo gravitacional (figura 1.1). Se realiza un experimento mental: Si una persona estuviese encerrada en un caja sin ventanas y quisiera desarrollar un experimento para diferenciar donde se encuentra –si en caída libre o en el espacio en ausencia de gravitación- no encontraría diferencia alguna, ya que si soltara un objeto, este permanecería al lado de él, debido a la igualdad de m_g y m_i los cuerpos se aceleran de igual manera en caída libre, bajo el mismo campo gravitacional, entonces los cuerpos caen paralelamente igual y en el espacio los cuerpos tienen un estado de “ingravidez” y flotarían de la misma manera.

El principio débil desarrolla la equivalencia entre un sistema de caída libre y un sistema en ausencia de gravedad, por lo tanto un “observador que se encuentre en caída libre bajo la influencia

³También conocido como el Principio de Equivalencia de Einstein (PEE)



(a) La caja se encuentra en un espacio libre de un campo gravitacional.



(b) La caja se encuentra en caída libre bajo efecto de un campo gravitacional homogéneo.

Figura 1.1: *Principio de Equivalencia Débil*

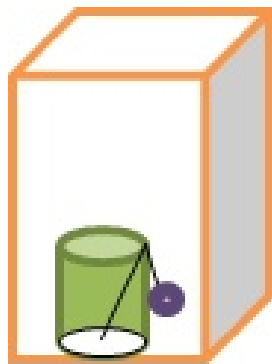
de un campo gravitacional, las ecuaciones que expresan las leyes de la física son las mismas que se cumplirían en ausencia de gravitación, en la relatividad especial (Torre, 2008).

1.1.3. Principio de Equivalencia Fuerte (PEF)

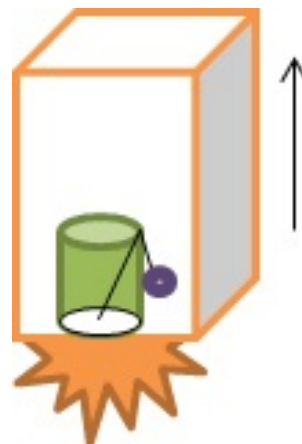
Asimismo como se expuso el Principio de Equivalencia Débil (PED) sin rigurosidad matemática, si no desde un marco conceptual y siendo este una apertura para entender el Principio de Equivalencia Fuerte (PEF) este último va encajado con las leyes de la naturaleza (Weinberg, 1972), es decir, con la gravedad.

En el PEF “*se asumirá por completo la equivalencia física de un campo gravitatorio y la aceleración. (Einstein, 1907)*”. Newton mencionaba que un campo gravitacional es una fuerza de atracción generada por una masa, esta masa atraía a las demás, pero no explicaba por qué la masa formaba esta fuerza gravitacional, fue A. Einstein quien propone una teoría distinta, la curvatura del espacio-tiempo por presencia de una masa, generando que los cuerpos que se encuentran alrededor entren en un sistema semejante al de caída, explicando así que la fuerza gravitacional es lo mismo que la aceleración que sufren los cuerpos cuando entran en caída libre, En esto se basa el principio de Einstein y se realiza el siguiente experimento mental:

Imaginemos que nos encontramos en una caja, un ascensor o una nave espacial sin ventanas y lejos de cualquier campo gravitacional, el observador dentro de la caja necesita saber dónde se encuentra si está bajo la influencia de un campo gravitacional o un sistema acelerado, la caja tiene



(a) La caja se encuentra bajo un campo gravitacional, la Tierra



(b) La caja se encuentra en un sistema uniformemente acelerado

Figura 1.2: *Principio de Equivalencia Fuerte*

una aceleración constante de $9,8 \frac{m}{s^2}$ hacia arriba (Figura 1.2 b). Se suelta un objeto y este cae hacia el suelo de la caja tal como ocurriría si estuviésemos en la tierra, el observador predispone que está bajo un campo gravitacional, es allí donde encontramos el Principio Fuerte, en otras palabras, los efectos (locales) de un campo gravitatorio homogéneo son exactamente equivalentes a los que produce una aceleración uniforme apropiada (Peña, 2003).

El principio fuerte desarrolla la equivalencia entre un sistema acelerado y un campo gravitacional, por lo tanto, no es posible distinguir si nos encontramos en un sistema de referencia acelerado o bajo la influencia de un campo gravitacional (figura 1.2). Con ayuda de esto Einstein desarrolla una nueva teoría de gravitación, la cual en breves palabras consiste en que la masa distorsiona el espacio-tiempo -lo curva- afectando las masas cercanas, están encontrándose en caída hacia ella, con una aceleración (Figura 1.3). Pero por qué el principio de equivalencia es importante para la

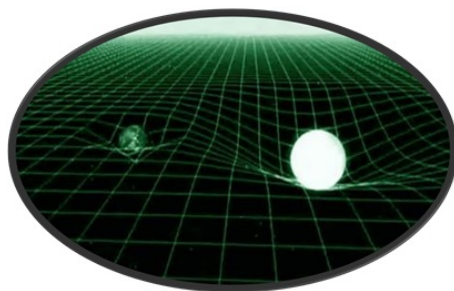


Figura 1.3: *Representación de la curvatura del espacio-tiempo debido a una masa. Extraída de:*
<http://nebuladragonis.wordpress.com/2012/04/16/quien-teme-a-los-agujeros-negros/> 5 de Enero 2013

relatividad general, existen varias consecuencias o comprobaciones con base a este principio, una de ellas es la curvatura de la luz, la cual se ve afectada por un campo gravitacional, lo evidenciaremos en la siguiente sección.

1.1.4. Explicación de la curvatura de la luz desde el PE

En el artículo de Einstein de 1911 en la sección *IV. Bending of Light-Rays in the Gravitational Field*⁴ menciona que un potencial gravitacional ejerce influencia sobre la luz, haciendo que esta se desvíe, hecho que se comprobó por Eddington en 1919 mediante el eclipse de Sol.

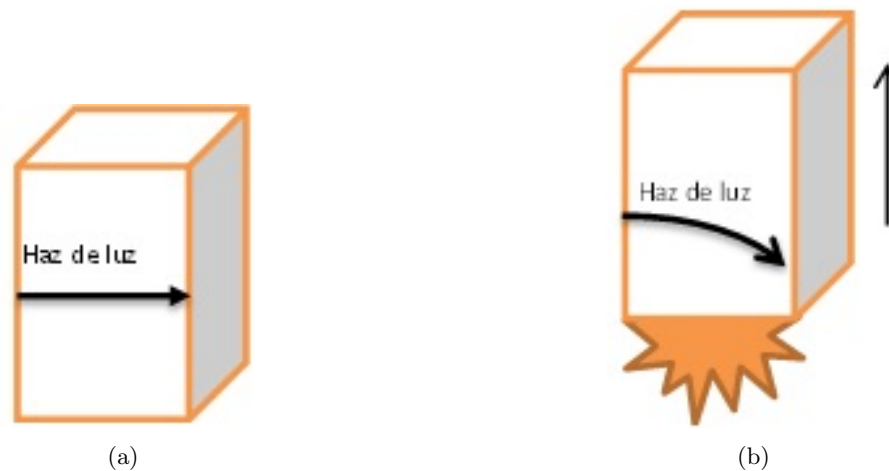


Figura 1.4: Deflexión de la luz por la gravedad, explicada desde el PE.

Se encuentra un observador en estado de reposo y fuera del ascensor, (figura 1.4a) se envía un haz de luz desde una pared del ascensor, como en este momento el ascensor también se encuentra en reposo, el haz de luz viaja horizontalmente. En la (figura 1.4b) el ascensor se acelera hacia arriba y la luz se curva, esto ocurre debido a que mientras el haz de luz viaja de un lado a otro el ascensor se eleva verticalmente respecto a la luz y se evidencia una desviación de esta, según el principio de equivalencia un sistema acelerado es equivalente a un campo gravitacional, la trayectoria de la luz se curva debido a la influencia del campo gravitatorio, así el principio de equivalencia explica la curvatura de la luz. (Giancoli D. C., *General Relativity: Gravity and the curvature of Space*, 2009. p. 1206).

⁴Desviación de los rayos de luz en el campo gravitatorio

1.1.5. Conclusión

En este capítulo se hizo referencia y se describió conceptualmente el Principio de Equivalencia sin recurrir a matemáticas avanzadas o conceptos físicos más difíciles de comprender para estudiantes, los cuales apenas se estén involucrando con los temas de física moderna.

Este Principio permite la explicación de la curvatura de la luz como se mostró, también explica otros sucesos, los cuales no hacen parte del objetivo del documento. Es así que podemos enseñarle a los estudiantes temas de física como el Principio Equivalencia sin aglomerarlos de una cantidad de fórmulas, claro está que el estudiante que desee involucrarse más con este tema tendrá que recurrir a ellas.

Por lo tanto este capítulo muestra que es posible exhibir un conocimiento de física moderna para estudiantes que todavía no se han involucrado profundamente con esta ciencia.

Capítulo 2

Juguete de Einstein

El Juguete de Einstein es un experimento donde se observa la hipótesis planteada por Einstein en cuanto a caída libre, los objetos aparentemente pierden su peso evidenciando la base del principio de equivalencia.

2.1. Historia del Juguete de Einstein

La existencia de este juguete nace cuando el profesor Eric Rogers se lo obsequio a A. Einstein:

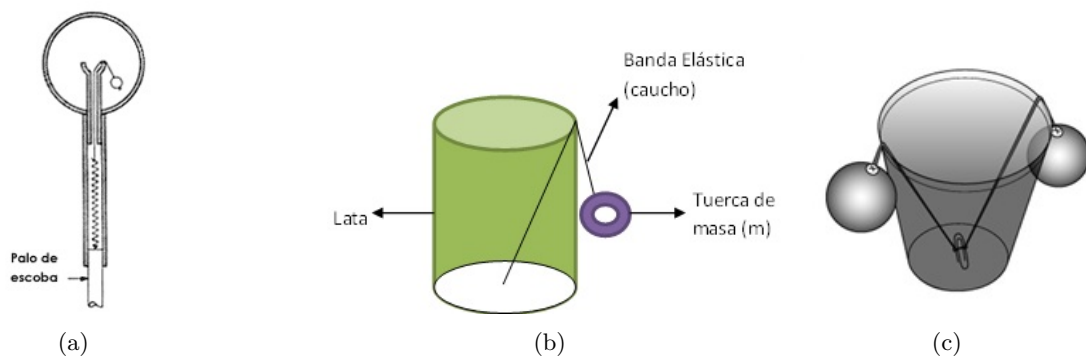


Figura 2.1: *Juguetes de Einstein; a) Representación del juguete que ideó Eric Rogers, Imagen extraída de: (Peña, 2003). b) Juguete planteado en el libro Física 1 de: (Valero, 2005 8^{va} Reimpresión). El cual se llevó al aula para presente trabajo. c) Diseño del profesor Paul Doherty junto con una actividad que describe la construcción del artefacto, se publicó en el año 2005 en la revista Exploratorium. Extraído de: <http://www.exploratorium.edu/onlineactivities.html>, el 20 de Enero 2013.*

Mientras vivía en Princeton, de tiempo en tiempo mi esposa y yo le llevábamos un pequeño acertijo físico a nuestro vecino, el profesor Einstein, a menudo como un regalo de cumpleaños.

El último de esos acertijos, que le obsequiamos en su setenta aniversario, fue, según creo, original. Surgió de un antiguo juego para niños: una pelota amarrada a una cuerda se liga a una copa con la cual el niño debe pescar la bola. Nuestra modificación del juguete era un problema destinado a Einstein, que el disfrutó y resolvió de inmediato.

Poníamos una bola de metal atada a un hilo y todo dentro de un globo transparente. En el centro del globo había una copa, también transparente, en la cual debería depositarse la bola de metal. Inicialmente, la bola yacía fuera de la copa y el hilo se pasaba por ella, y luego por un tubo central transparente. Debajo del globo, el hilo se ataba a un resorte, largo y débil, protegido por otro tubo transparente que terminaba en un palo de escoba. El problema consistía en lo siguiente: Si la bola cuelga fuera de la copa, se debe conseguir meterla en ella con un método absolutamente seguro –en contraste con el éxito ocasional que se tendría agitando el palo de la escoba al azar.

La solución del enigma del profesor Rogers nos la cuenta Bernard Cohen, en su relato de una entrevista a Einstein realizada en 1955. Nos dice Cohen:

... de repente, Einstein se volvió y me dijo: –Espere, espere, le debo enseñar mi regalo de cumpleaños. De regreso a su estudio vi a Einstein tomar de un rincón algo que recordaba un cortinero, de cinco pies de largo, con una esfera de plástico en su extremo. Del cortinero salía hacia el centro de la esfera un pequeño tubo de plástico, y de este una cuerda con una bolita en su extremo. “Verá –me dijo Einstein– todo esto ha sido diseñado para ilustrar el principio de equivalencia. La bolita está atada a la cuerda, que va dentro del tubo y se amarra a un resorte. Este resorte tira de la bola, pero no la puede meter en el tubo ya que no es lo suficientemente fuerte para vencer la fuerza gravitacional que jala la esfera”.

Una sonrisa bonachona inundó su cara y sus ojos brillaron con placer cuando dijo: “Y ahora, el principio de equivalencia”. Agarró entonces el cortinero y lo llevó hasta que la esfera de plástico rozara el techo. “Ahora lo dejaré caer dijo Einstein y de acuerdo al principio de equivalencia no habrá fuerza gravitacional. El resorte será lo suficientemente fuerte para llevar a la bolita dentro del tubo de plástico”. Así, dejó caer en forma brusca el artefacto, libre y a lo largo de la vertical, guiándolo con su mano hasta que el cortinero llegó al suelo. La esfera de plástico estaba entonces al nivel de nuestros ojos. Desde luego, la bolita se hallaba dentro del tubo. Con esa demostración de su regalo de cumpleaños, la entrevista llegaba a su fin...(Flores Valdés, 1997. p. 117)

2.2. Solución del Juguete

La construcción del juguete de la (figura 2.1a) es complicada ya que requiere de bastantes materiales, el juguete que se planteó para que los estudiantes lo elaboraran es el de la (figura 2.1b)¹, solo se necesita una banda elástica, una tuerca y una lata, Este artefacto cumple con el

¹Los diseños presentados en este documento no son los únicos, se puede construir diferentes modelos los cuales cumplan con el mismo objetivo, en el artículo Güémez, J. (2007). *Física de juguetes y dispositivos sencillos. Principio*

diseño original, al dejarlo caer libremente se evidencia el principio de equivalencia.

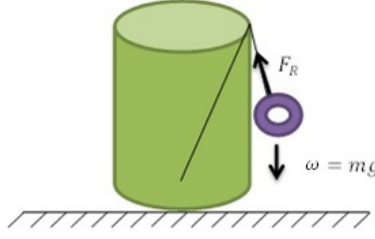


Figura 2.2: Diagrama de Fuerzas sobre una superficie. Donde F_R es la fuerza de restitución del caucho.

$$\sum \vec{F} = \vec{F}_R + m\vec{g} = 0 \quad (2.1)$$

$$-\vec{F}_R = m\vec{g} \quad (2.2)$$

Para este sistema en estado estático, la magnitud $F_R = mg$, la fuerza de restitución F_R del caucho no es la suficientemente grande como para vencer la fuerza gravitacional mg para volver a su estado inicial, y la tuerca se mantendrá por fuera sin poder ingresar a la lata, elongando el caucho.

Ahora consideramos un sistema dinámico, cuando esta en caída libre

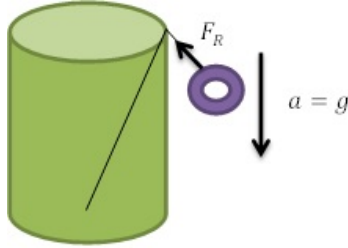


Figura 2.3: Dejando el juguete en caída libre

$$\sum \vec{F} = \vec{F}_R + m\vec{g} = m\vec{a} \quad (2.3)$$

De la ecuación (2.3) el juguete está en caída y se acelera, pero recordemos que $\vec{\omega}$ el peso de magnitud $\omega = mg$ es para un sistema estático y para el sistema en caída libre y de acuerdo con el principio de equivalencia al estar en esta situación localmente el peso no tendría información:

$$\sum \vec{F} = \vec{F}_R + 0 = m\vec{a} \quad (2.4)$$

de *Equivalencia de Einstein*, p. 1-9. Muestran diferentes formas de evidenciar dicho principio.

y la aceleración sería $a = g$ quedando $ma = \omega = mg = 0$ por lo tanto, la una única fuerza en este sistema:

$$\begin{aligned}\vec{F} &= \vec{F}_R + 0 = 0 \\ \vec{F} &= \vec{F}_R\end{aligned}\tag{2.5}$$

Por lo tanto la fuerza resultante es la fuerza de restitución del caucho, restaurándose a su longitud original introduciendo la tuerca dentro de la lata al estar en caída libre el Juguete.

2.3. Análisis Juguete de Einstein

En la sección anterior *solución del juguete* se explica el funcionamiento de este y como evidencia el principio de equivalencia. En esta sección se mostrara un análisis más detallado del juguete.

- Experimentalmente una pequeña sección de la tuerca hace contacto con la lata, generando una fuerza de presión sobre ella, escogiendo el sistema de referencia parados en la tuerca, al realizar un diagrama de cuerpo libre cuando la lata está en un estado estático (figura 2.4) nos queda:

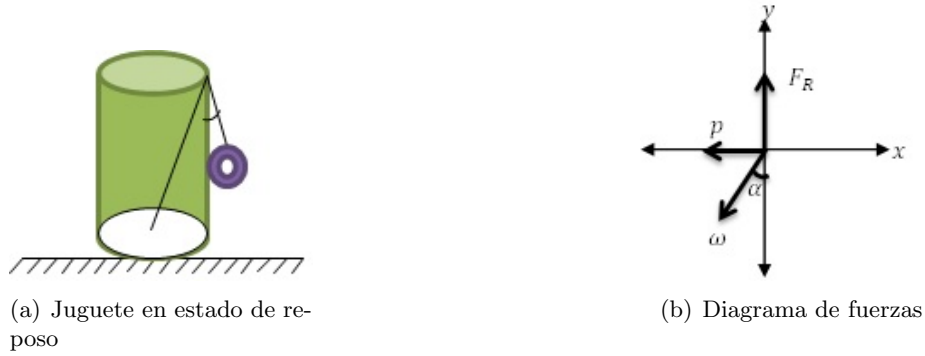


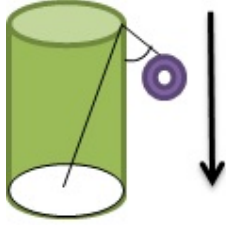
Figura 2.4: Donde F_R es la fuerza de restitución del caucho, $\omega = mg$ es el peso, α el ángulo y p la fuerza de presión que genera la tuerca hacia la lata.

Retomando las ecuaciones (2.1) y (2.2), y considerando el diagrama de fuerzas de la figura 2.4b, el análisis de las fuerzas nos queda:

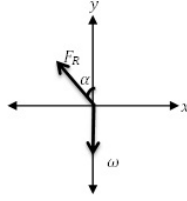
$$\vec{F}_y = \vec{F}_R = \omega \cos \alpha (-\hat{j})\tag{2.6}$$

$$\vec{F}_x = \vec{F}_p = \omega \sin \alpha (-\hat{i})\tag{2.7}$$

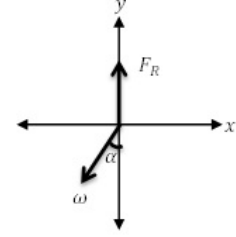
- Ahora lo consideramos en un estado dinámico (caída libre), experimentalmente se observa que cuando el juguete se encuentra en caída, la tuerca se despegue de la pared de la lata (*ver anexo 5*), por lo tanto la fuerza p desaparece en este caso, quedando el diagrama de fuerzas (figura 2.5b) como:



(a) Juguete en estado de caída libre



(b) Diagrama de fuerzas



(c) Diagrama de fuerzas

Figura 2.5: Juguete en caída libre

Se puede girar el sistema de referencia (figura 2.5c) para realizar la matemática.

$$F_y = F_R - \omega \cos \alpha = ma \quad (2.8)$$

$$F_R = ma + \omega \cos \alpha \quad (2.9)$$

donde $a = g$ y $\omega = mg$, remplazado en (2.9)

$$F_R = mg + mg \cos \alpha \quad (2.10)$$

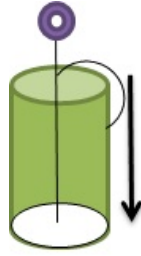
$$F_R = mg(1 + \cos \alpha) \quad (2.11)$$

A medida que el juguete va cayendo el ángulo va variando y con unos ángulos específicos como se

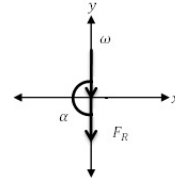
Ángulo α	$1 + \cos \alpha$
30	1.86
60	1.5
90	1
180	0

Cuadro 2.1: Valores

presenta en el cuadro 2.1, se observa que a medida que va cayendo la fuerza de restitución es mayor al peso de la tuerca por lo cual puede jalarla. Al considerar que la tuerca está a 180° significa que la tuerca se encontraría según la figura 2.6 y haría más fácil insertar la tuerca dentro de la lata.



(a) Juguete en caída libre y la tuerca está a 180°



(b) Diagrama de fuerzas

Figura 2.6: Tuerca a 180°

2.3.1. Conclusión

Por medio del análisis anterior se pudo encontrar cual es la fuerza de restitución del caucho para el caso del Juguete de Einstein, recordemos que el peso es simplemente la fuerza que ejerce la gravedad sobre una masa, por lo tanto al estar en caída libre el juguete y desde el sistema de referencia de la tuerca, esta pierde su peso aparente pero su masa continua intacta.

Al estar en reposo la tuerca posee un peso debido a la fuerza gravitacionañ, la cual hace que se elongue el caucho, al estar en ese estado la fuerza que ejerce sobre la tuerca no deja que el caucho vuelva a su estado inicial, pero cuando este se encuentra en caída la fuerza gravitacional se cancela y el caucho tiene la fuerza para volver a su estado inicial.

Capítulo 3

Marco Pedagógico

En diferentes ramas de las ciencias existe una problemática en cuanto a informar y hacer entender a los individuos y/o estudiantes sobre los avances que se han venido presentado en estos campos, esta problemática se puede resumir a la enseñanza de las ciencias y qué teoría cognitiva es la adecuada para que los estudiantes puedan adquirir un conocimiento de algún tema y aunque existen diferentes teorías la presente investigación se basa en dos, el ABP (Aprendizaje Basado en Problemas) y la educación basada en la Experiencia, esta ultima la elabora John Dewey con su frase “*aprender haciendo*”¹.

La misión del departamento de física de la Universidad Pedagógica Nacional “*es presentar un servicio educativo en el área de la enseñanza de la física... mediante la formulación y el desarrollo de proyectos y programas... acorte a las necesidades y expectativas de la comunidad educativa... que contribuyan en la solución de la problemática educativa del país*”. Por lo tanto y en vista a que la física ya no solo reposa en la física aristotélica o en la mecánica newtoniana, durante siglos esta ha venido evolucionando, generando nuevas teorías físicas, teorías que podríamos resumir a la física cuántica y a la relatividad -física moderna - (Vellareal, Lobo, & Briceño, 2005). Por consiguiente la enseñanza de la física moderna hacia la comunidad educativa debe iniciar desde la secundaria, pero desde un punto conceptual y analítico, para así estar al entendimiento de los avances físicos que se presentan día a día en el mundo, por tal motivo se debe generar un proceso de enseñanza-aprendizaje donde el estudiante se interese por la física; González² relata que “*los estudiantes no*

¹ *Learning by doing. (Enciclopedia Práctica de Pedagogía)*

² González Arias, 2005. La Física en 2005 y el aprendizaje significativo

logran aprender física debido a que no tienen o les falta bases para comprender este tema de estudio y en ocasiones falta conocimientos matemáticos”.

En vista a lo relatado y aunque existen varias teorías cognitivas, la presente investigación se encaminó en realizar una mezcla entre Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) con la teoría experiencia y educación de John Dewey, para lograr incursionar en el aula de básica secundaria la ilustración de la física moderna en la temática de la Relatividad General, comenzando con el Principio de Equivalencia por medio del Juguete de Einstein ya que: *“Los juguetes están llenos de Física. Funcionan de acuerdo con los principios físicos más variados y, además, a veces lo hacen produciendo sorpresa en el resultado lo que, puede ser una buena base sobre la que comenzar un tema en el aula. (López García, 2004)”.*

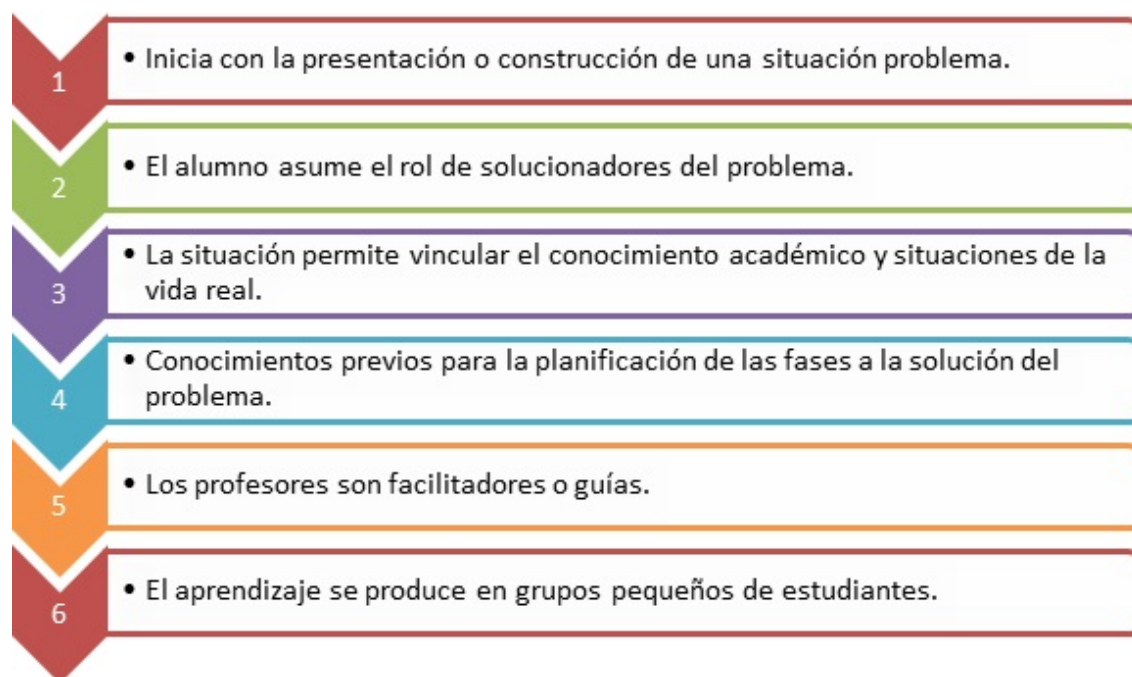
3.1. Aprendizaje Basado en Problemas (ABP)

Esta metodología de enseñanza se empleó en la década de los sesenta en la Escuela de Medicina de la Universidad de *Case Western Reserve* en Estados Unidos (Dueñas, 2001), imponiéndola para dar un cambio a la educación tradicional que solo se basada en clases magistrales por parte del docente (Dirección de Investigación y Desarrollo Educativo, 2004). Así mismo se ha incursionado por varias décadas en las escuelas de medicina ya que uno de los principales objetivos de esta metodología de enseñanza está centrado al aprendizaje del estudiante y que este sea significativo (Morales Bueno & Landa Fitzgerald, 2004). No existe una ruta específica para aplicar el ABP solo hay unos elementos como lo señala (Díaz Barriga, 2005), En el cuadro 3.1 se ilustran los pasos básicos para la aplicación del ABP los cuales fueron participes en el momento de analizar la implementación de la presente investigación (*ver capítulo 5*).

Esta metodología ya se ha implementado en diferentes ramas de la ciencia como: *“(Vicario, Zubiaga, Gutiérrez-Zorilla, & Insausti). Aprendizaje Basado en Problemas. Una estrategia para mejorar el aprendizaje en las titulaciones de Biología y Química.”* y en el área de física como: *“(Planella, Escoda, & Suñol, 2009). Análisis de una experiencia basado en problemas en la asignatura de fundamentos de física.”*

En el siguiente cuadro se evidenciará las pautas que se llevó a cabo en la presente investigación

al momento de implementar el ABP, estas pautas se recogieron de diferentes autores³, ya que no existe una ruta específica se eligió una forma en la cual podamos involucrar esta metodología de enseñanza hacia el área de física y al tema el cual se trabajó, El principio de Equivalencia por medio del Juguete de Einstein.



Cuadro 3.1: Ruta básica para aplicar el ABP

3.2. Experiencia y Educación

En las obras de Dewey se encuentra un libro de texto llamado Experiencia y Educación, allí resalta un punto significativo en cuanto a la educación tradicional frente a la educación progresiva, enunciando que *“las materias de enseñanza son conjuntos de información y destreza que han sido elaborados en el pasado, siendo la escuela es la encargada de transmitir esos conocimientos a las nuevas generaciones en donde la escuela ordinaria se rige por horarios, exámenes, calificaciones, reglas, donde el papel del docente es un ser comunicador de esta información (Dewey, 1967. 9^{na} ed. p. 12)”* Rechazando este tipo de educación, proponiendo que *“la unidad fundamental de la nueva*

³(Díaz Barriga, 2005), (Morales Bueno & Landa Fitzgerald, 2004), (Planella, Escoda, & Suñol, 2009).

pedagogía se encuentra en la idea de que existe una íntima y necesaria relación entre los procesos de la experiencia real y la educación” concluyendo que la experiencia personal del individuo generaría una adquisición significativa en cuanto al aprendizaje, proponiendo una educación progresiva con base a la experiencia.

Esta teoría consta de dos ejes, la *continuidad* y la *interacción*; el primer eje expone que toda experiencia que adquiera la persona es esencial para su proceso de educación y habilidad para vivir en sociedad, las experiencias pueden ser enriquecedoras o no, pero esta influye en las experiencias futuras, la continuidad hace referencia a que la experiencia es almacenada y perturba a una futura experiencia. Por otro lado el segundo eje es la *interacción*, está conectada con la primera, simplemente varía en que la experiencia almacenada es el artificio de la construcción de una nueva experiencia, interactúa el pasado con el presente. (Almeida & Camargo, 2011).

Por lo tanto la experiencia puede ser interesante o no, al utilizar la educación basada en la experiencia se debe poseer un cierto cuidado, ya que esta experiencia debe ser productiva y tiene que crear nuevas experiencias, quien vive estas experiencias sufre modificación para la comprensión y/o adquisición de conocimientos y generación de nuevas experiencias (Dewey, 1967. 9^{na}ed.) El papel del docente es el de buscar nuevas estrategias en donde la experiencia pueda ser enriquecedora para la construcción del conocimiento del estudiante.

3.3. Estrategia pedagógica al componer el ABP con la Experiencia y Educación

Existen diferentes teorías pedagógicas, la presente investigación se fundamentó en componer el ABP con la parte de Experiencia y Educación, con el fin de lograr que el estudiante pueda sacar provecho en las experiencias del día a día y pueda adquirir una comprensión conceptual en cuanto se refiere al campo de la física. Esto se debe a que en nuestro entorno podemos aplicar física a toda situación –un auto en movimiento, un juguete, la caída de un objeto, etc. –por lo tanto al generar una experiencia e introducirle un problema, convierte una experiencia en algo productivo para la construcción del propio conocimiento.

Una de las mejores formas de aprender es haciendo las cosas, como dice un viejo refrán *la experiencia hace al maestro*. El campo de la física permite realizar diferentes experiencias, con las

cuales podemos conocer leyes o teorías de esta misma, como se realiza con el Juguete de Einstein. Estas teorías pedagógicas nos ayudan en el campo de la enseñanza de la física, logrando que el estudiante con base a su experiencia con el juguete de Einstein, sea un artificio para la construcción de su conocimiento y la comprensión del Principio de Equivalencia.

Por lo cual la ruta metodológica que se llevó al aula, en primera medida es que los estudiantes construyeran e interactuaran con el juguete de Einstein y lo intentaran solucionar, esta es la parte de la experiencia, de allí parte el planteamiento del problema y se introduce el ABP, el cual tiene bastante relación con la experiencia real. Así que por medio del ABP podemos hacer que las experiencias que tienen almacenadas los estudiantes las abstraigan, y las relacionen con el problema planteado de modo tal que le puedan dar solución; este proceso se llevó por medio de guías en el cual involucraran el Juguete de Einstein y del PE.

Einstein realizó un experimento mental, en el cual una persona que se encontrara en caída libre no sentía su propio peso, entonces por medio del Juguete de Einstein se evidencia este hecho y se empieza a ayudar al estudiante en la construcción conceptual del Principio de Equivalencia. Como se expuso en el capítulo 2, el juguete al estar en una superficie, el peso de la tuerca hace que se elongue el caucho y al dejarlo en caída libre la tuerca pierde su peso y el caucho lo atrae hacia el interior de la lata.

El ABP y la teoría de experiencia son similares en el momento en el que el individuo y/o estudiante se convierte en el constructor de su propio conocimiento, sin embargo no se deja solo al estudiante y es entonces en donde entra el rol del docente, su papel es ser orientador, para que el estudiante no se desvíe y no genere conclusiones incorrectas de las que propone la teoría física que se desea ilustrar, el docente se encarga de generarles experiencias y discusiones las cuales ayuden al estudiante a la comprensión del tema.

Capítulo 4

Metodología

4.1. Método de Investigación

El método en el que se apoyó el presente trabajo, es conocido como enfoque o método empírico-analítico, donde se plantea hipótesis para demostrarlas (Restrepo Mesa, 2008 3ra ed.), este método se encuentra inmerso en una investigación cualitativa. El componente analítico encierra la construcción de un marco conceptual, realizando el planteamiento del problema y al análisis cuantitativo de los resultados obtenidos al momento de la implementación hacia los estudiantes y el componente empírico, encierra la estrategia de investigación, en este caso, nos referimos a la estrategia pedagógica que se planteó en el capítulo 3. (Mutis Ibarra)

Por lo tanto la intención del presente proyecto de investigación se enfoca en como los estudiantes pueden formular problemas con base a la construcción y solución del juguete de Einstein por medio de sus propias experiencias y de pautas dadas –*guías (ver anexos)*- para la construcción de sus conocimientos.

El fin de aplicar esta metodología de investigación es promover la enseñanza de la física moderna por medio de la experiencia y así comprobar teorías, principios o leyes físicas para la comprensión de las mismas. (del Rincón y Latorre, 1992)

Los datos obtenidos por medio de este método se consiguieron por medio de una encuesta inicial con preguntas abiertas, de igual manera durante la aplicación de las guías estas tenían preguntas las cuales los estudiantes contestaban a medida que aclaraban sus hipótesis acerca del juguete y del

Principio de Equivalencia; las guías se elaboraron mediante ensayo y error durante dos semestres de la practica pedagógica, durante este tiempo se presentaron guías de diferentes temas de física, en las cuales se observaba el interés de los estudiantes al desarrollarlas y se corregían, llegando finalmente a la conclusión de que los estudiantes no les prestan interés si estas tienen demasiado contenido de lectura y rigurosidad matemática.

Por lo tanto las guías que se utilizaron durante la implementación tienen una estructura de un componente teórico con una lectura corta que introducía al estudiante al tema a tratar durante la sesión, el otro componente eran las preguntas problema para que ellos le dieran soluciones.

Este método al estar inmerso en la investigación cualitativa se tiene en cuenta la población, las discusiones, ideas que se generaron en el aula, las cuales ayudaron a la conclusión final de la presente investigación en cuanto a la posible enseñanza de física moderna –El Principio de Equivalencia de la (TGR)- en secundaria.

4.2. Descripción de la Población

La población a la que se le llevó el Juguete de Einstein, fueron a sesenta y ocho (68) estudiantes de grado Undécimo de:

Colegio:	ESCUELA NACIONAL DE COMERCIO I.E.D
Ubicación:	Calle 9a No. 0-30 este; Barrio Egipto
Rector:	Henry Barrera
Coordinadora Académica:	Cristina Molina
Coordinadora de Convivencia:	Marlene Platarrueda

La institución cuenta con dos grados undécimos 11-01 y 11-02; se dio lugar a la implementación a estos dos cursos debido a que ellos tienen nociones de temas como -caída libre, fuerzas, leyes de Newton-.

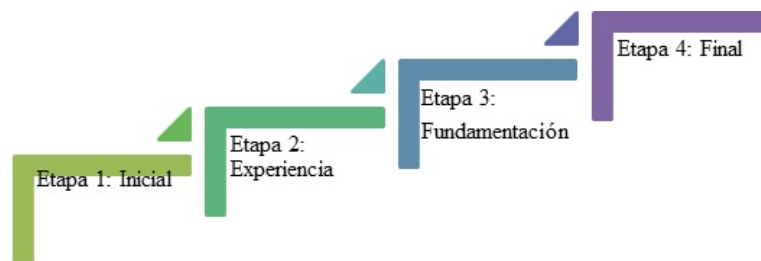
Población	11-01	11-02	Total Estudiantes
Hombres	20	18	38
Mujeres	14	16	30
Total	34	34	68



Cuadro 4.1: Descripción de la población estudiantil I. E. D. ESNALCO

4.3. Propuesta Ruta Metodológica

Como se mencionó anteriormente el objetivo general del presente trabajo es plantear una ruta metodológica para el entendimiento del principio de equivalencia por medio del juguete de Einstein. Nos referimos que una ruta metodológica, es el camino donde se propone un procedimiento con ciertas etapas para alcanzar un objetivo. Cada etapa tiene un periodo de implementación en el aula,



Cuadro 4.2: Etapas de la ruta metodológica

el tiempo en el que se practicó la ruta metodológica consto de dos (2) horas de clase semanales con cada grado de undécimo, es decir 4 horas semanales para culminar una etapa para los dos grados, concluyendo con 16 horas para la implementación total de la ruta planteada. En el siguiente capítulo se hará una descripción más detallada de estas sesiones y los resultados obtenidos de cada etapa.

Etapa 1, Inicial o Pre-estudio: Busca recolectar los conceptos previos que tienen los estudiantes de los dos grados de undécimos, conceptos los cuales envuelven el Principio de Equivalencia, se planteara la pregunta problema del juguete de ¿cómo introducir la tuerca dentro de la lata sin tocarla?, esto se realizara por medio de una encuesta de preguntas abiertas (*ver anexo 1*). Así observaremos las hipótesis y posibles soluciones que los estudiantes plantearían antes de construir el juguete.

Etapas 2, Experiencia: Se plantea la construcción del juguete por parte de los estudiantes y evidenciar que complicaciones existieron a la construcción del Juguete de Einstein y las posibles soluciones, se presenta una encuesta, donde consiste en que los estudiantes relaten sus experiencias en la construcción del artefacto y nuevamente preguntar, si pueden hacer que la tuerca ingrese a la lata (*ver anexo 2*). También para evidenciar si este tipo de didáctica acapara la atención de los estudiantes para el estudio de las ciencias-físicas.

Etapas 3, Fundamentación I: Consta en llevar una guía de acompañamiento donde los estudiantes identifiquen algunas variables que involucran el juguete de Einstein y del PED. Esta guía interviene los temas de masa inercial y gravitacional, peso aparente en un ascensor y la introducción al Principio de Equivalencia Débil (*ver anexo 3*). De igual manera se encontrará una serie de preguntas las cuales los estudiantes con base a su experiencia con el juguete y lo planteado en la guía respondan si estos temas se pueden involucrar con el Juguete.

Etapas 4, Principio de Equivalencia: Luego de la etapa de fundamentación I, viene la etapa final denominada Principio de Equivalencia, también es acompañada por una guía (*ver anexo 4*), la cual expone lo presentado en el capítulo 1. Esta guía recoge los conceptos y experiencias que se formaron en las anteriores etapas para así llevar al estudiante a la comprensión conceptual del PE.

Capítulo 5

Implementación y Análisis

A continuación se mostrara la implementación y los resultados que se obtuvieron al llevar el Juguete de Einstein al aula de básica secundaria, para la comprensión del Principio de Equivalencia por medio de la estrategia pedagógica del ABP y la Experiencia como Educación.

5.1. Etapa 1

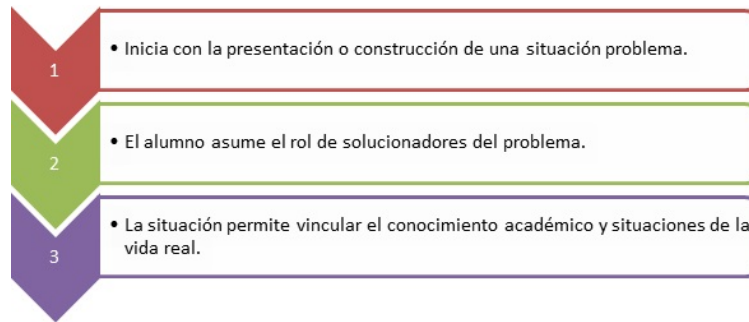
La finalidad de la presente etapa es identificar los conocimientos previos de los estudiantes respecto al tema de esta investigación y evidenciar si es posible, que por medio de problemáticas solucionen el Juguete de Einstein y temas relacionados con el Principio de Equivalencia, sin que ellos todavía hayan construido o interactuado con el juguete y se les haya introducido la temática del PE; como se ha mencionado se realizaron preguntas abiertas¹ (*ver anexo 1*). A condición de que por medio de los resultados obtenidos, el investigador elabore los pasos a seguir, para así lograr la construcción conceptual del Principio de Equivalencia atreves del Juguete de Einstein.

Los resultados de la etapa 1 se dividen en dos partes, la primera corresponde a los tres primeros pasos que muestra el ABP en el cuadro 3.1 (*ver Capítulo 3*). La segunda parte corresponde a paso 4 del ABP, donde se evidenciaran los conocimientos previos de los estudiantes respecto al Principio de Equivalencia. Esta etapa se desarrolló en los dos grados, como la población que se manejó es del mismo grado académico undécimo, los resultados son generales y no se divide por grado.

¹En esta etapa al momento de sistematizar y analizar no se tuvieron en cuenta todas las preguntas de la encuesta, si no las más relevantes, las cuales son de mayor importancia para la comprensión del PE.

- Primera parte.

Para la solución del problema planteado acerca del juguete, se analizan las tres primeras partes del ABP las cuales se exponen a continuación.



1. Algunas definiciones del ABP mencionan que la construcción del problema tiene que ser dado por los estudiantes, pero este trabajo no se realizó así, debido a como se relató en el marco pedagógico, el objetivo es no dejar al estudiante solo, por tal motivo en esta parte se les presenta el juguete.
2. El problema es el juguete de Einstein, para este caso todavía ellos no han construido físicamente el juguete, así que ellos asumen el papel de solucionar el problema, la idea es que realizaran una construcción mental del juguete y lo resuelvan.
3. Solucionan el problema del juguete con temas vistos anteriormente en física en su vida diaria.

¿Cómo se podría llevar la tuerca dentro de la lata sin que nosotros o algún objeto haga contacto con ella?

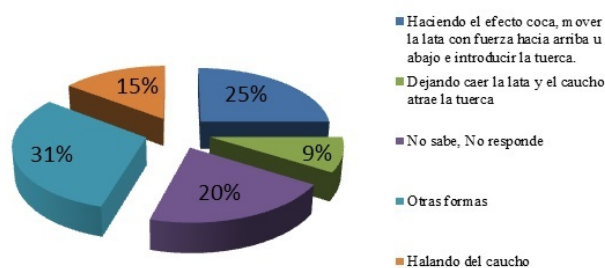


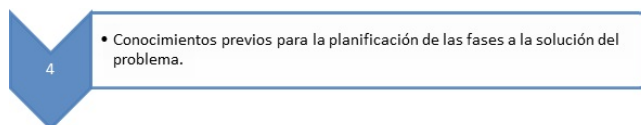
Gráfico 5.1: Resultados de la solución del juguete por parte de los estudiantes

Análisis Gráfico 5.1 Como se observa en el gráfico los estudiantes lo relacionan con hechos vistos anteriormente como el juguete llamado coca, lo relacionan con otras formas, por los temas que actualmente ven en grado undécimo –electromagnetismo- o simplemente dejando que el caucho vuelva a su estado inicial, solo el 9 % de los estudiantes consideraron dejarlo caer para que la fuerza del caucho introdujera la tuerca, pero no comprendían por qué al dejarlo caer era posible que se encajara la tuerca.

En esta parte se muestra que los tres primeros pasos del ABP se cumplen generando un interés por parte del estudiante a solucionar la problemática.

■ Segunda parte

Para la segunda parte de la etapa 1, se indaga sobre los conocimientos previos que tienen los estudiantes acerca del Principio de equivalencia, para así lograr aplicar los pasos 5 y 6 del ABP, en este caso el investigador del presente trabajo planificara las siguientes etapas de la implementación para lograr que los estudiantes comprendan el Principio de Equivalencia por medio del Juguete de Einstein.



4. Esta parte del ABP se centra en conocer si los estudiantes podrían tener conocimientos previos sobre el principio de equivalencia débil y fuerte. Se introdujo dos preguntas donde se pudiera evidenciar el razonamiento respecto al tema de la investigación.

1. La primera pregunta se divide en dos; primero se les plantea:

a) Al estar en una nave espacial los astronautas y diferentes objetos flotan. Si al encontrasen unas personas en caída libre y no sintieran la resistencia del aire, ven que caen paralelamente, una junto a otra. Preguntándoles a los estudiantes que: ¿si las personas que están en caída libre creerían que se encontrarán en el espacio exterior?

Análisis Gráfico 5.2 El 63 % de los estudiantes no consideran que localmente se podría sentir lo mismo en caída libre como en un espacio libre de gravitación, esta pregunta se



Gráfico 5.2: Respuesta de los estudiantes de la parte a).

plantea para observar si los estudiantes pueden abstraer la concepción sobre un sistema ingrávido, que como se introdujo en el *capítulo 1*, estar en caída libre localmente se sentiría en un estado de ingravidez, así empezar a introducir el principio de equivalencia débil, esta introducción del PED² se complementa con la parte *b* correspondiente al figura 5.3

b). Dentro de un ascensor cerrado sin ventanas y la persona que se encuentra dentro no está parada en el suelo del ascensor si no flotando ¿Cómo podría saber si está en caída libre o está en una nave espacial?



Gráfico 5.3: Respuesta de los estudiantes de la parte b).

Análisis Gráfico 5.3 En este gráfico se muestran algunas respuestas de los estudiantes, el 62 % de los encuestados no responden la pregunta o contestan mencionando que en el espacio se flota y en caída libre no, aun planteándoles que tomaran el ascensor como una nave espacial no logran abstraer que en caída libre y en el espacio exterior localmente

²Principio de Equivalencia Débil

es equivalente, solo 5 % de los estudiantes señalan que es lo mismo y no se sabría donde se encontraría la persona, el resto de estudiantes responden diferentes cosas como se evidencia en la figura.

no se sabe porque onba
están flotando

Figura 5.4: Respuesta de un estudiante correspondiente al 5 %

- La segunda pregunta hace referencia al Principio de Equivalencia Fuerte (PEF): Se les plantea que *si el ascensor se acelera uniformemente hacia arriba y la persona que se encuentra dentro está de pie sosteniendo el juguete como si estuviese en la tierra*, preguntándole a los estudiantes que: *¿Se sentiría igual como si estuviese bajo acción de la gravitacional de la Tierra si se soltase el juguete?*



Gráfico 5.5: Respuesta de los estudiantes respecto al PEF

Análisis Gráfico 5.5 En este gráfico evidenciamos que la mayor parte de los estudiantes no logran abstraer si existiría alguna equivalencia entre un sistema acelerado uniformemente y un campo gravitacional homogéneo, el 18 % de los estudiantes que respondieron afirmativamente la pregunta se basan en que la aceleración es equivalente a la aceleración gravitacional, pero no saben o no entienden cual es la consecuencia que lleva a que esta afirmación sea correcta y que tendría que ver en el campo de la física.

5.1.1. Conclusión Etapa 1

En el momento de la aplicación de esta etapa se observó que los estudiantes se interesan en solucionar esta clase de problemáticas, al momento de que se les plantea situaciones reales o situaciones que pueden estar a su alcance, generando así un análisis y solución a problemas que pueden presentar en la realidad.

Así mismo en la encuesta se pregunta a los estudiantes ¿cómo les gustaría aprender física? el 75 % respondió por medio de experimentos ya que es más fácil el entendimiento y más didáctico. Por lo tanto introducir el juguete para que ellos lo construyan y entiendan los conceptos físicos como lo señala (Canedo, 2007) *“la utilización de juguetes, por su flexibilidad, sencillez de uso y bajos costos; la relevancia de los juguetes en el proceso de enseñanza/aprendizaje es notable por motivar a los estudiantes al aprendizaje de los principios físicos”*. Con ello y con los resultados obtenidos, donde se evidencia que en primera instancia los estudiantes no conocen y no comprenden el PE esto permite llevar a cabo la etapa 2, donde los estudiantes construirán el juguete y nuevamente se plantearán problemáticas, donde ellos seguirán siendo artificios en la solución de ellas y en construcción de su conocimiento.

5.2. Etapa 2: Experiencia

Luego de diferenciar los conocimientos previos de los estudiantes de acuerdo al Principio de Equivalencia y de cómo podrían solucionar el Juguete de Einstein, estos resultados ayudan a elaborar el segundo nivel de la ruta metodológica. Esta etapa corresponde, a la experiencia real de los estudiantes con el juguete de Einstein, es decir, ellos construyen e interactúan con el juguete, al tenerlo en sus manos nuevamente tendrán que generar soluciones acerca del mismo.

La finalidad de esta etapa denominada etapa de experiencia, es aplicar los demás ítems del ABP y desarrollar la Experiencia, para esto último nos referimos al hecho de que al tener el Juguete al alcance de sus manos puedan interactuar con él, pueda ser más sencilla la solución de este y comprobar las hipótesis que ellos se plantean, la elaboración del juguete se realizó fuera del aula de clases, como actividad en casa.

En esta etapa se pretende observar si los estudiantes son artífices en la construcción de su

conocimiento fuera del aula, la elaboración del juguete se llevó acabo en grupos de dos estudiantes, para poner en practica el ítem 6 del ABP, donde el aprendizaje se produce en grupos pequeños.

La primera parte de este análisis, corresponde en evidenciar el interés de los estudiantes a la elaboración del artefacto “las complicaciones”; La segunda parte concierne al hecho de saber si los estudiantes investigan fuera del salón de clases sobre el Principio de Equivalencia.

- Primera parte

El gráfico siguiente nos evidencia la cantidad de estudiantes que se interesaron en construir el Juguete de Einstein.

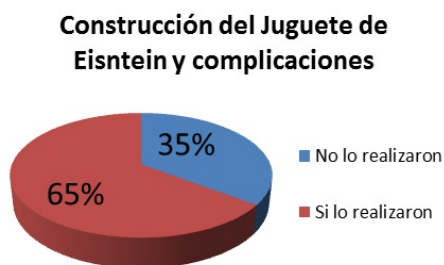
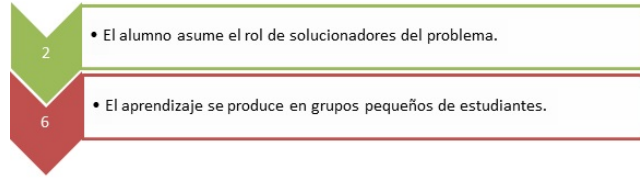


Gráfico 5.6: *Construcción del Juguete de Einstein por parte de los estudiantes*

Análisis Gráfico 5.6 Este gráfico nos revela que más de la mitad de población de los estudiantes construyeron el juguete de Einstein, mostrando un interés hacia este artefacto, ya que al preguntarles si tuvieron alguna complicación en la elaboración del juguete, los estudiantes contestaron que no, que era un experimento fácil de realizar y los materiales eran accesibles. Esto nos demuestra que al ser fácil la construcción de artefactos para el entendimiento de un principio físico los estudiantes se interesan por hacerlo, en la segunda parte de esta etapa se mostrara sí los estudiantes desde sus casas asumen el rol de investigadores para el aprendizaje del Principio de Equivalencia.

- Segunda parte

En la segunda parte de la etapa 2 se evidencia como los estudiantes resuelven el problema del Juguete de Einstein y del Principio de Equivalencia, mostrando si se responsabilizan por fuera del aula de clase o es necesario tomar esta clase de enseñanza directamente en el aula.



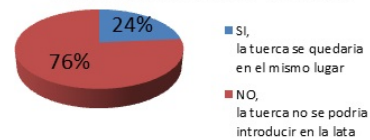
Se toman tres preguntas problema base, que ellos deben solucionar, la primera hace referencia al caucho, la segunda qué sucede al dejarlo caer y por último que investiguen sobre el Principio de Equivalencia, a continuación mostraremos los resultados con sus respectivas conclusiones.

¿Qué función cumple el caucho?



(a) Pregunta 1

¿Una cuerda cumpliría la misma función del caucho?



(b) pregunta 2

Gráfico 5.7: Preguntas referente a la función del caucho

Análisis Gráfico 5.7 Estos resultados permiten conocer como los estudiantes están razonando con los diferentes componentes que hacen parte del juguete, en este caso la banda elástica o caucho, mostrándonos que al plantearles problemáticas en esta clase de artefactos y teniéndolos al alcance de la mano, se logra un mayor interés por parte del estudiante en dar solución y analizar el juguete dado.

¿Qué sucede al dejar caer el Juguete de Einstein?

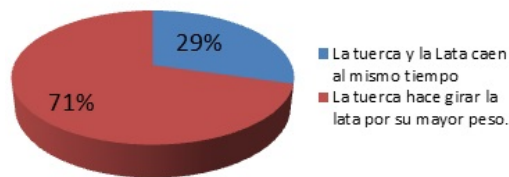


Gráfico 5.8: El juguete en caída libre

Análisis Gráfico 5.8 Los estudiantes encontraron un problema el cual no aspiraron solucionar, ya que este no se presentaba en la guía laboratorio que se les entrego (*ver anexo 2*), este problema

es: *que tanto la lata y la tuerca deben caer paralelamente, es decir, no se debe dejar que la tuerca haga girar la lata, por lo tanto debe equilibrar los pesos, donde la lata no se deje alterar por el peso de la tuerca*, esta problemática se solucionó por medio de la intervención del docente-investigador en la aplicación de la etapa 3 y 4. En la conclusión final de la presente etapa se evaluará todos estos resultados desde la parte de Experiencia y Educación.



Gráfico 5.9: Consulta del Principio de Equivalencia por parte de los Estudiantes

Análisis Gráfico 5.9 La intención de estar al corriente sobre que tanto los estudiantes realizan consultas fuera del aula de clase, sin que el docente este presente, es ver si ellos asumen el rol de constructores de su propio conocimiento, los porcentajes nos muestran que todavía no tienen esa responsabilidad y esa capacidad de investigar diferentes temáticas que le ayuden a solucionar ciertos casos.

5.2.1. Conclusión Etapa 2: Experiencia

En el momento de la aplicación de la Etapa 2 o Etapa de experiencia con el Juguete, arroja dos conclusiones:

1. Desde el punto de la elaboración de un artefacto, los estudiantes se encuentran interesados, ya que se interesan por las prácticas manuales y por la accesibilidad de los materiales, no se desilusionan en la construcción del Juguete. Es una experiencia motivadora ya que solucionan dificultades que se les presente durante la elaboración, por ejemplo en abrir la parte superior de la lata como se les pide en la guía laboratorio.

2. En el momento en el que se pretende que el estudiante adquiriera la responsabilidad de consultar en textos o algún otro tipo de fuente de información para aclarar dudas del juguete y del principio de equivalencia, ellos no asumen esta responsabilidad, solo se enfocan en hacer lo que se les pide, esto lo podemos analizar desde el punto de vista de John Dewey donde todavía están acostumbrados en una escuela tradicional *“donde se les impone modelos, materias y métodos adultos a aquellos que solo se están desarrollando lentamente hacia la madurez”* y como lo menciona en su libro de experiencia y educación *“todo esto es extraño a la capacidad que poseen los jóvenes... y está más allá de la experiencia que posee el joven que aprende”* (Dewey, 9na Ed.1967. p. 14)

Así con los resultados obtenidos y el análisis que se imparte desde el punto de la experiencia como educación, nos permite ir hacia la etapa 3 y 4, donde se plantea problemas y experiencias que estén al alcance del entendimiento por parte del estudiante, se realiza una introducción al tema desde un punto conceptual del Principio de Equivalencia, para la comprensión de este último se les plantea y breve procedimiento matemático, con el cual ellos ya están familiarizados debido a la formación académica que se les llevó en las temáticas del grado decimo, esto se evidenciara en los resultados de la etapa 3 y 4.

5.3. Etapa 3: Fundamentación I

Con los resultados obtenidos anteriormente se realiza las etapas 3 y 4, que corresponden a la fundamentación del Principio de Equivalencia, en esta etapa se pretende que con las experiencias que ya poseen los estudiantes en el campo de la física gracias a sus grados anteriores y con las prácticas que han tenido con el Juguete de Einstein, se encamine a él estudiante a la comprensión de este principio de la física moderna.

Se les plantea unos problemas del principio de equivalencia, estos nos permiten orientar al estudiante al PED sin necesidad de introducirlo drásticamente, al contrario, al plantearles estas situaciones problemas se expone una secuencia sencilla para el entendimiento de este concepto por parte de los estudiantes. Estos problemas son: 1) la aceleración. 2) El peso de un objeto en el interior de un ascensor cuando este se acelera hacia arriba y hacia abajo. 3) Relación con el Juguete de Einstein.

1. Aceleración:

- A los estudiantes se les pide que calculen la aceleración de diferentes masas cuando se les aplica la misma fuerza y que realicen una gráfica de ello. Esto con el fin de que los estudiantes identifiquen que a mayor masa la aceleración es menor. El 100 % de los estudiantes coincidieron con los cálculos y la gráfica que ellos realizaron, la de mayor masa se acelero menos.
- Luego se les plantea que: a) si al dejar caer dos objetos de diferente masa bajo la misma fuerza gravitacional, la de mayor masa caería primero y b) que dejaran caer de una misma altura dos objetos de diferente masa y se fijaran si caían al mismo tiempo.

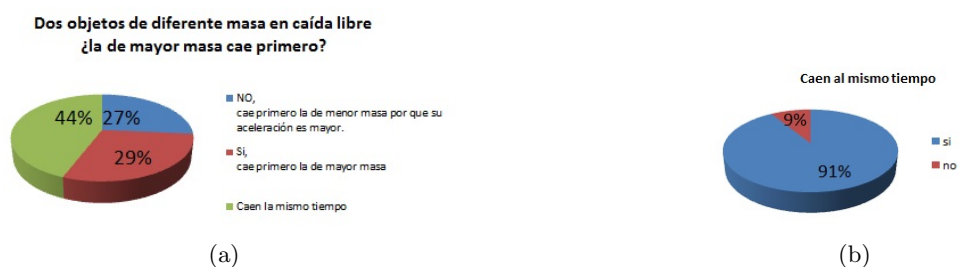


Gráfico 5.10: Preguntas referente a caída libre

Análisis de los Gráficos 5.10 En primer lugar se realizó una breve lectura, luego respondieron una pregunta problema (*ver anexo 3*), en la pregunta a Se quiere evidenciar la capacidad de revolver una pregunta problema con el ejercicio que se les había planteado sobre la aceleración de diferentes masas, el gráfico 5a, muestra que más del 50 % de los estudiantes inferen que en caída libre y sin resistencia del aire los objetos caen diferente, algunos mencionan que cae primero el más liviano por que adquiere mayor velocidad y otros que cae primero el de mayor peso, esta clase de pregunta se realiza con el fin de mostrarles los conceptos de masa inercial y gravitacional.

Luego se les plantea otra situación, pero esta vez con una experiencia real, la cual consiste en dejar caer dos objetos de diferente masa y desde una misma altura y observar lo sucedido, los resultados de esta parte se evidencian en la figura 5b Como se muestra el 91 % de los estudiantes observaron que los dos objetos caen al mismo tiempo, algunos estudiantes contestaron que se debía a que la masa no intervenía en un movimiento de caída libre.

Al comparar los resultados de la experiencias de las figuras *a* y *b* evidenciamos una vez más que por medio de una experiencia real y con los conceptos previos que tienen los estudiantes se puede llevar a cabo una construcción más amplia sobre estos conceptos y llevarlos a una temática mas compleja, para este caso –el peso aparente- la cual corresponde a la siguiente sección, donde se calculara el peso objeto cuando se acelera dentro de un ascensor.

2. *Peso aparente*

Se les solicito a los estudiantes calcular matemáticamente el peso de un objeto que se encontraba sobre una báscula cuando estaba en el interior de un ascensor y este se aceleraba constantemente ($9,8 \frac{m}{s^2}$) hacia arriba y luego hacia abajo (*ver anexo 3*). El 85 % de los estudiantes afirmaron que mientras el ascensor acelera hacia arriba el peso del pescado aumenta más que cuando estaba en reposo, de la misma manera cuando se aceleraba hacia abajo el peso disminuye; el 15 % de estudiantes faltantes no desearon realizar la práctica.

Esta práctica se llevó con el fin de orientar al estudiante a que en caída libre localmente el peso no influye, por lo tanto todos los cuerpos caen con la misma aceleración, asimismo se hace un breve introducción sobre PED, preguntándoles *¿si el ascensor esta en caída y la balanza al no marcar peso se encuentra en ingravidez como los astronautas?*



Gráfico 5.11: Respuesta por parte de los Estudiantes

Análisis Gráfico 5.11 Podemos observar que con los ejercicios planteados del ascensor los estudiantes se van apropiando de sus experiencias, a tal punto que pueden hacer la interacción de las pasadas experiencias con las nuevas, para así lograr resolver las situaciones problema que se les plantea, para así poder plantearles nuevamente el Juguete de Einstein.

3. *Relación con el Juguete de Einstein.* A los estudiantes se les plantea la siguiente pregunta respecto al juguete:

¿Si se deja en caída libre el Juguete la tuerca pierde su peso y el caucho volvería a su estado original ingresando la tuerca en la lata?

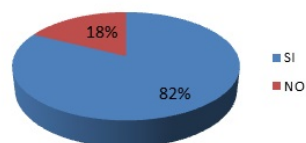


Gráfico 5.12: Respuesta por parte de los Estudiantes

Análisis Gráfico 5.12 Mediante este gráfico se observa que la mayor parte de los estudiantes siguen relacionando las experiencias que tuvieron con el ascensor y con la pregunta del gráfico 5.11 logrando abstraerlas para seguir resolviendo los problemas dados; dándose cuenta que al caer libremente localmente no sentirían su propio peso.

5.3.1. Conclusión Etapa 3: Fundamentación I

La aplicación de la presente etapa corresponde a la ruta metodológica, con el fin de lograr una fundamentación sobre el peso aparente que siente un objeto en caída libre de modo tal que pudieran relacionarlo con las experiencias pasadas sobre el juguete, cuando ellos lo construyeron (Etapa 2). Este punto ya próximo a finalizar la implementación de la ruta metodológica del Juguete de Einstein para la enseñanza del principio de equivalencia, ha sido satisfactorio ya que por medio de modelos pedagógicos, el ABP y la experiencia como educación han sido de gran ayuda y los estudiantes han ido comprendiendo algunos conceptos. De igual manera en la guía que se realizó una breve aclaración sobre las diferencias de peso y masa, ya que algunos estudiantes proponían que es lo mismo. Esta etapa es importante ya que es una breve introducción al principio de equivalencia y los estudiantes hasta el momento desconocían que significa este principio, el cual se les aclarará en la siguiente y última etapa.

5.4. Etapa 4: Principio de Equivalencia (PE)

Esta etapa concluirá el proceso de la enseñanza del PE, donde los estudiantes se relacionaron con el mismo, evidenciaremos si los estudiantes lograron abstraer que en un sistema de caída libre el cuerpo disminuye localmente su peso y se comporta como en un estado de ingravidez, asimismo

un sistema acelerado uniformemente, es igual a un campo gravitacional homogéneo.

En la guía (*ver anexo 4*) que se les presenta a los estudiantes, hay una breve lectura y una explicación matemática de por qué los cuerpos se aceleran de la misma forma, se les expone la totalidad del principio de equivalencia, presentándoles algunas preguntas problemas sobre este tema.

En el análisis de la presente etapa se expondrá 3 preguntas relevantes sobre el PE que los estudiantes manifestaron, a continuación se presentaran las preguntas con sus respectivas figuras de porcentaje, las cuales se analizarán todas en conjunto a diferencia de las etapas anteriores que era individual.

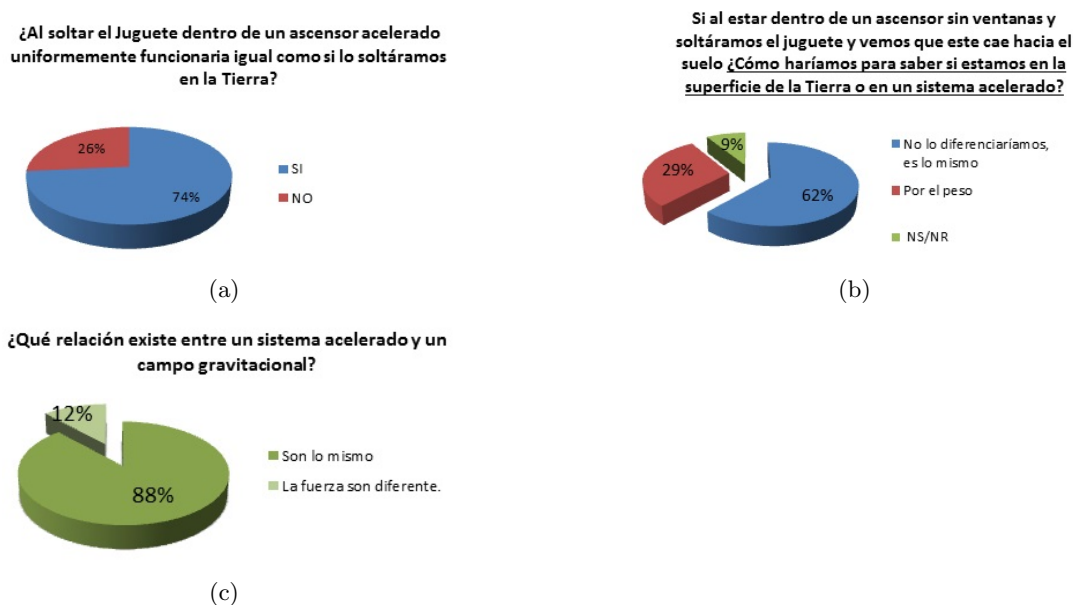


Gráfico 5.13: Preguntas referente al PEF

Análisis Gráfico 5.13 En las preguntas a) y b) se plantean situaciones para evidenciar si hay diferencia cuando se esta en un campo gravitacional y cuando se esta en un sistema acelerado, dejando en caída el Juguete de Einstein. En la pregunta c) se plantea a los estudiantes encontrar la relación de un sistema acelerado y un campo gravitacional, como se observa más de la mitad de los estudiantes afirman que es lo mismo, algunas respuestas de los estudiantes mencionan que es lo mismo siempre y cuando tenga la misma aceleración gravitacional de la Tierra. A continuación se presenta algunas respuestas de los estudiantes.

que las dos generan la
misma fuerza gravitacional

No podríamos saber porque
las condiciones de aceleración
serían las mismas porque
 $A = G$

5.4.1. Conclusión Etapa 4: Principio de Equivalencia

Se evidencia que los estudiantes lograron comprender el por qué los cuerpos se aceleran de la misma forma sin importar su masa y que se puede simular un campo gravitación a través de un sistema acelerado uniformemente.

De igual forma en las discusiones que se presentaron durante la implementación, los estudiantes si lograron abstraer que un sistema acelerado uniformemente es equivalente a un campo gravitacional y hecho que fue propuesto por el físico A. Einstein. También se les preguntó si las naves espaciales que se encontraban orbitando alrededor de la Tierra estaban en caída libre hacia ella misma, solo el 13 % de los estudiantes afirmaron que de acuerdo a la experiencia del ascensor las naves espaciales estaban en caída libre.

Conclusiones.

- A partir del objetivo general del trabajo se pudo proponer una ruta metodológica para la enseñanza del PE en el aula de básica secundaria por medio del Juguete de Einstein y justificar la enseñanza de física moderna, las guías llevadas al aula permitieron llevar al estudiante a la comprensión del Principio de Equivalencia.
- Los resultados obtenidos confirman que al momento de llevar una ruta específica, planeada, con modelos cognitivos y con juguetes y/o artefactos se ayuda al estudiante en el entendimiento del tema, por lo tanto es posible llevar al aula temáticas de la física moderna.
- Durante la implementación en los salones de clase, a los estudiantes no se les proporciono ningún libro, solo las guías elaboradas y el juguete. Así se logró que utilizando el modelo ABP y sus experiencias construyeran su propio conocimiento.
- Por medio de los modelos pedagógicos usados y la construcción del juguete se logró que los estudiantes entre sus grupos de trabajo desarrollaran debates y formularan soluciones efectivas que concernieran al PE, dando validez al ítem 6 del ABP (*cuadro 3.1, capítulo 3*) donde el aprendizaje se produce en grupos pequeños, de igual manera aprobando la teoría deweyana, donde por medio de experiencias reales y círculos sociales que envuelven el mismo problema se ayudan a la educación del individuo.
- Aunque esta ruta se llevó a los grados de undécimo, se evidencia que un gran porcentaje los estudiantes comprendieron el PE sin antes haber tenido conocimiento de ello, esto nos lleva a planear metodologías de enseñanza para grados inferiores, así cuando lleguen a una etapa de madurez tenga conocimientos más claros y profundos acerca de la ciencia y los jóvenes lleguen a ser un generadores activos en el avance científico del país.

Bibliografía

Alemañ Berenguer, R. A., & Pérez Selles, J. (2000). Enseñanza por cambio conceptual: de la física clásica a la relatividad. *Enseñanza de las Ciencias*, 3(18), 463-471.

Almeida, A., & Camargo, M. (2 de Junio de 2011). *Los modelos pedagógicos visto desde miradas y reflexiones humanísticas*. Recuperado el 28 de Marzo de 2013, de <http://carpetatareascatedrarafa.blogspot.com/2011/06/dewey-experiencia-y-educacion-profs.html>

Barbosa, L. (2008). Los Experimentos Discrepantes en el aprendizaje activo de la Física. *Latin-American Journal of physics Education*, 3 (2), 246-252.

Barry, P. (18 de Mayo de 2007). *National Aeronautics and Space Administration*. Recuperado el 5 de Septiembre de 2012, de: http://ciencia.nasa.gov/science-at-nasa/2007/18may_equivalenceprinciple/

Canedo, X. (2007). Enseñanza de la Física mediante el uso de juguetes. *Revista Boliviana de física*(13), 166-167.

del Rincón y Latorre, A. (1992). *Síntesis de las características de los paradigmas de investigación en educación*. Recuperado el 28 de Marzo de 2013, de http://www.uam.es/personal_pdi/stmaria/jmurillo/Met_inves_TED/Documentos/Paradigmas.pdf

Dewey, J. (1958). Experiencia y Educación 6ta Ed y 9na ED. Buenos Aires: Losada,S.A.

Díaz Barriga, F. (2005). El aprendizaje basado en problemas y el método de casos. En *Enseñanza situada: Vínculo entre la escuela y la vida* (pág. Capítulo 3). México: McGraw Hill.

D’Inverno, R. (1992). The Principles of General Relativity. En *Introducing Einstein’s Relativity* (págs. 120-132). Oxford University Press.

Dirección de Investigación y Desarrollo Educativo. (2004). Aprendizaje Basado en Problemas como técnica didáctica. *Vicerrectoría Académica, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey*. Recuperado el 13 de Diciembre de 2012, de <http://www.ub.edu/mercanti/abp.pdf>.

Dueñas, V. H. (2001). El aprendizaje basado en problemas como enfoque pedagógica en la educación en salud. *Colombia Medica*, 32, 189-196.

Einstein, A. (4 de Diciembre de 1907). *On the relativity principle and the conclusions drawn from it. Traducido de: Über das Relativitätsprinzip und die aus demselben gezogenen Folgerungen. Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik 4 (1907): 411-462.* Recuperado el 3 de Enero de 2012 de: http://www.pitt.edu/~jdnorton/teaching/GR&Grav_2007/pdf/Einstein_1907.pdf

Einstein, A. (11 de junio de 1911). *On the influence of gravitation on the propagation of light. Traducido de: Über den Einfluss des Schwerefelds auf die Ausbreitung des Lichtes. Annalen der Physik, 35 (1911)* Recuperado el 10 de Diciembre de 2012 de: http://qss.stanford.edu/~godfrey/physics/Einstein_On_the_Influ_of_Grav_on_Light.pdf

Enciclopedia Práctica de Pedagogía. (s.f.). Modelos Pedagógicos Vol. 2 . Planeta.

Florez, V. J. (1997). El Principio de Equivalencia. En *Las Ondas Gravitacionales. La gran ilusión III*. (págs. 71-77).

G. Field (1921/1958). General formulation of the principle of equivalence. Connection between gravitation and metric. *Theory of Relativity by W. Pauli*. (pp. 145-149) Dover Publications, New York.

Giancoli, D. C. (2006). *Física Principios con Aplicaciones 6ta Ed.* . México: Pearson Educación.

Giancoli, D. C. (2009). General Relativity: Gravity and the curvature of Space. En *Physics for Scientists & Engineers with Modern Physics 4ta ed.* (págs. 1205-1209). United States of America: Pearson Prentice Hall.

González Arias, A. (2005). *La Física en 2005 y el aprendizaje significativo*. Recuperado el Marzo de 15 de 2013, de <http://www.rieoei.org/deloslectores/1101Gonzalez.pdf>

Gravity Probe B. Testing Einstein's Universe. (s.f.). Recuperado el 20 de Enero de 2013, de <http://einstein.stanford.edu/RESOURCES/education-index.html>

Güémez, J. Fiolhais, C. Fiolhais, M. (2009). Toys in physics lectures and demonstrations-a brief review. *Physics Education*, 44, (1), pp. 44-53.

Güémez, J. (2007). Física de juguetes y dispositivos sencillos. Principio de Equivalencia de Einstein, p. 1-9.

Güémez, J. (2007). Física de juguetes y dispositivos sencillos. Caída libre de un muelle. Departamento de Física Aplicada, Universidad de Cantabria. p. 1-6

Hartle, J. B. (2003). The Equivalence Principle. En *Gravity An introduction to Einstein's General Relativity*. (págs. 110-113). United States of American: Pearson Education, Inc.

López García, V. (2004). *La Física de los Juguetes*. (R. E. ciencias, Ed.) Recuperado el 15 de Enero de 2013, de <http://www.disfrutalaciencia.es/archivos/102408061912fisicajug.pdf>

Ministerio de Educación Nacional. (2006). *Estándares Básicos de Competencias en Lenguaje, Matemáticas, Ciencias y Ciudadanas*. Obtenido de <http://www.mineducacion.gov.co/cvn/1665/article-116042.html>

Morales Bueno, P., & Landa Fitzgerald, V. (29 de Octubre de 2004). *Aprendizaje Basado en Problemas*. (Theoria, Ed.) Recuperado el 15 de Enero de 2013, de <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/299/29901314.pdf>

Mutis Ibarra, L. (s.f.). La investigación como metodología. Recuperado el 11 de Enero de 2013, de <http://es.scribd.com/doc/20600917/4/La-investigacion-empirica-%E2%80%93analitica>

Osorio, D. Osorio, A. Velasquez, L & Zuluaga, O. (1993). *La pedagogía de John Dewey*. Revista Educación y Pedagogía (10-11), 20-30. Recuperado el 6 de Julio del 2012, de <http://aprendeenlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/revistaeyp/article/view/5697/5117>.
Universidad de Antioquia - Facultad de Educación.

Otero. C. L. (2007). Einstein y la teoría de la relatividad. Del universo estático al universo en expansión. Revista Umbrales

Peña, L. (2003) La idea más feliz de mi vida. En *Albert Einstein: navegante solitario 3a. ed* (págs. 56-60). México: Fondo de Cultura Económica, FCE.

Planella, J., Escoda, L., & Suñol, J. J. (1 de Junio de 2009). *Análisis de una experiencia de aprendizaje basado en problemas en la asignatura de Fundamentos de Física*. Recuperado el 16 de Febrero de 2013, de http://www.um.es/ead/Red_u/3

Pulido, M. C. (1995). *El Proyecto Educativo: Elementos para la construcción colectiva de una institución de calidad*. En M. C. Pulido, *El Proyecto Educativo: Elementos para la construcción colectiva de una institución de calidad* (pág. 35). Bogotá: Magisterio.

Rago, H. (2001). Relatividad General o la atractiva del ser. Recuperado el 23 de Febrero de

2013, de http://webdelprofesor.ula.ve/ciencias/rago/cursos_archivos/minicursos/hablando_de_relatividad_2.pdf

Restrepo Mesa, M. C. (2008 3ra ed.). Enfoque empírico-analítico. En *Produccion de textos educativos* (pág. 86). Bogotá: Cooperativa Editorial Magisterio.

Rojo Asenjo, O. (1990). *Sobre la enseñanza de la física*. Aula Abierta(55), 37-43.

Sarmiento Galán, A. (2004). Principio de Equivalencia. En *Gravitación Teoría General de la Relatividad*. (págs. 1-25). México: Facultad de Ciencias, UNAM.

Serway, R. A., & Jewett Jr, J. W. (2005). *Física para Ciencias e Ingenierías* 6ta Ed. . Thomson.

Serway, R. A., Moses, C. J., & Moyer, C. A. (2005). General Relativity. En *Modern Physics*, 3ra ed. (págs. 53-56). Thomson Learning, Inc.

Tejeiro Sarmiento, J. M. (2005). Ley de gravitación universal. En *Notas de Clase, Principio de Relatividad General* (págs. 83-87). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias.

Torre, L. (2008). El Principio de Equivalencia. En *Elementos de Relatividad* (págs. 292-298). Medellín: Universidad de Antioquia.

Totastronomía. (18 de Octubre de 2012). Recuperado el 29 de Enero de 2013, de <http://www.totastronomia.com/2012/10/ingravidez-o-caida-libre-en-el-espacio.html>

Valero, M (1982/2005). Física 1 8va reimpresión, Editorial Norma.

Vellareal, M., Lobo, H., & Briceño, J. (Marzo de 2005). *La enseñanza de la física frente al nuevo milenio*. Obtenido de <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/16941/2/articulo1.pdf>

Versaci, R. A. (s.f.). *Problemática en la enseñanza de la Física. La Física de cominezos del siglo XX*. Recuperado el 15 de Marzo de 2013, de <http://www.caedi.org.ar/pcdi/Area%207/7-152.PDF>

Vicario, A., Zubiaga, I., Gutiérrez-Zorilla, J. M., & Insausti, M. (s.f.). Aprendizaje Basado en Problemas. Una estrategia creativa para mejorar el aprendizaje en las titulaciones de Biología y Química. Recuperado el 17 de Enero de 2013, de <http://pendientedemigracion.ucm.es/centros/cont/descargas/documento3679.pdf>

Weinberg, S. (1972). En *Gravitation and Cosmology: Principles and Applications of the General Theory of Relativity*. (págs. 11-15; 67-79). New York: John Wiley & Sons, Inc.

Wong, C., Youn, S., & Yasui, K. (2006). Two falling-chain demonstrations based on Einstein's equivalence principle. (U. o. California, Ed.) *Department of Physics and Astronomy, Univesity of California*.

Anexos

ANEXO 1

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE LICENCIATURA EN FÍSICA
Elaborado por: ERICK ORTIZ



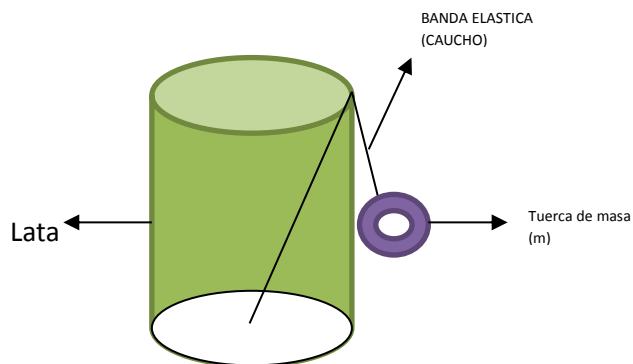
Estimado Estudiante:
I.E.D. ESCUELA NACIONAL DE COMERCIO

Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber
Albert Einstein 1879-1955

A continuación encontrarás una serie de preguntas a las cuales te solicito contestar verazmente:

EDAD: _____ GRADO: _____ FECHA: _____

DE ACUERDO CON LA SIGUIENTE FIGURA REALIZA:

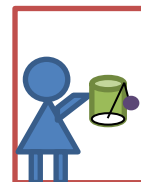


Un extremo del caucho (Banda elástica) está amarrado en el interior y al fondo de la lata, y en el otro extremo se amarra una tuerca dejándola colgar fuera de la lata.

1. De acuerdo con la figura anterior de la Lata, conocido como el **Juguete de Einstein**, ¿Cómo se podría llevar la tuerca dentro de la lata sin que nosotros o algún otro objeto haga contacto con ella?

2. Un ascensor sin ventanas está sobre la superficie de la Tierra, dentro del ascensor se encuentra una persona con el juguete de Einstein y lo deja caer desde la altura de sus hombros. Contesta lo siguiente:

- a. ¿El juguete cae hacia el suelo del ascensor? SI , NO, por qué, Justifica tu respuesta

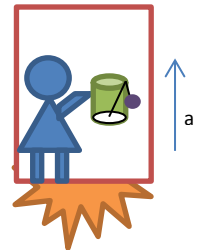


ANEXO 1
UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE LICENCIATURA EN FÍSICA
Elaborado por: ERICK ORTIZ



b. ¿mientras va cayendo que le sucede a la tuerca y al caucho?

3. El mismo ascensor se encuentra lejos de la Tierra, en el espacio exterior, donde de acuerdo con las experiencias de las naves espaciales todo flota, pero el ascensor se acelera hacia arriba con la misma aceleración gravitacional que hay en existe en la Tierra $a = 9,8 \frac{m}{s^2}$. Si la persona suelta el juguete que sucede, contesta las siguientes preguntas:



c. ¿El juguete cae hacia el suelo de la caja? SI , NO, porque, Justifica tu respuesta

a. ¿mientras va cayendo que le sucede a la tuerca y al caucho?

4. En una nave los astronautas al encontrarse en el espacio exterior sueltan unas frutas, se observa que tanto las frutas y como ellos quedan flotando, ni las frutas ni los astronautas caen hacia el suelo de nave (ver imagen 1)



Imagen 1: Astronautas en la EEI (Estación Espacial Internacional). Extraída de: <http://www.totastronomia.com/2012/10/ingravez-o-caida-libre-en-el-espacio.html>. El 29 enero 2013

¿Por qué sucede esto? justifica tu respuesta

ANEXO 1

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE LICENCIATURA EN FÍSICA
Elaborado por: ERICK ORTIZ



5. En la Imagen 2 vemos que unos paracaidistas que van en caída hacia el suelo, siendo atraídos por la gravedad de la Tierra; pero si observamos detalladamente van uno al lado del otro, como si estuviesen flotando.



6.
7.

Imagen 2 Extraída
<http://es.wikipedia.org/wiki/Paracaidismo> el 14 de
Noviembre 2012

¿Una persona sentiría lo mismo en caída libre como si se encontrara en el espacio exterior? Justifica tu respuesta

6. Si una persona se encontrara en un ascensor cerrado sin ventanas (ver Imagen 3) y ve que no está parada en el suelo del ascensor si no flotando:



Imagen extraída de: <http://www.zamandavolculuk.com/vetintal/htmlidosya/1/SpecialTheory-2.htm> 14 de
Noviembre 2012

¿Cómo podría saber si una persona está cayendo como un paracaidista o está en una nave espacial con ausencia de la gravedad?

8. ¿Qué es la masa Inercial?

9. ¿Qué es la masa gravitacional?

10. Existe alguna relación entre la masa inercial y masa gravitacional. Justifica tu respuesta

ANEXO 1
UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE LICENCIATURA EN FÍSICA
Elaborado por: ERICK ORTIZ

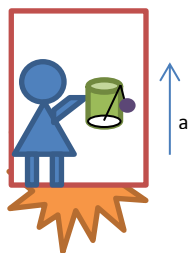
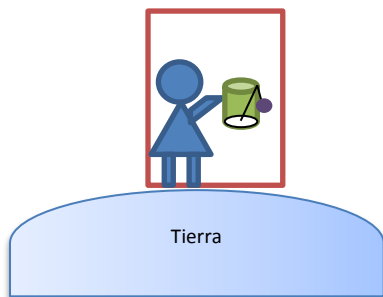


11. ¿Qué es aceleración de un cuerpo?

12. ¿Qué es un campo gravitacional?

13. ¿Qué relación existe entre un sistema acelerado y un campo gravitacional?

14. Dentro del ascensor que esta acelerado hacia arriba se ¿sentiría igual como si estuviese bajo el campo gravitacional de la Tierra si se soltase el juguete?



15. ¿Conoces qué es el Principio de Equivalencia? SI , NO, porque, Justifica tu respuesta

¿Cómo te gustaría aprender física?

Por medio de experimentos

Por medio de las matemáticas

Explicaciones en el tablero

Porque: _____

GRACIAS POR TU COLABORACIÓN

ANEXO 2

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE LICENCIATURA EN FÍSICA
Elaborado por: ERICK ORTIZ



Estimado Estudiante Undécimo:
I.E.D. ESCUELA NACIONAL DE COMERCIO

JUGUETE DE EINSTEIN

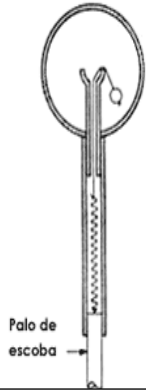


Figura 1. Representación del juguete que ideó Eric Rogers, Imagen extraída de: (Peña, 2003)

El profesor Eric Rogers le obsequio un juguete a A. Einstein en su cumpleaños número setenta, este juguete consistía en una esfera de metal atada a un hilo, el otro extremo hilo estaba atado a un resorte, el resorte y el hilo se encontraban dentro de un tubo que terminaba en un palo de escoba, la esfera salida de una copa que se encontraba dentro de

un globo transparente. La función del juguete consistía en introducir la bola de metal en la copa, sin tocarla. Albert Einstein lo resolvió mencionando que *“de acuerdo con el Principio de Equivalencia el resorte será lo suficientemente fuerte para introducir la esfera dentro de la copa”*

Pero la construcción que harás es más sencilla que la mostrada anteriormente, esta se explicara a continuación.

Objetivo:

Identifica los temas de física involucrados en la explicación juguete de Einstein y los problemas en la construcción del mismo.

Descripción de la práctica

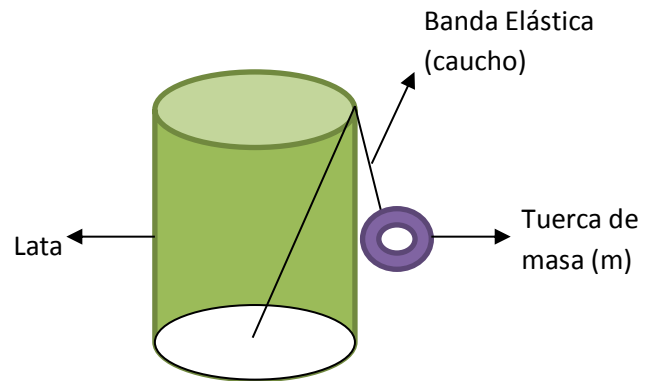
La construcción del juguete de Einstein por parte de los estudiantes de básica secundaria tiene el objetivo de dar a conocer el Principio de equivalencia que formulo el físico A. Einstein para el desarrollo de la Relatividad General.

Materiales:

Una lata y/o tarro (gaseosa, pintura, etc)

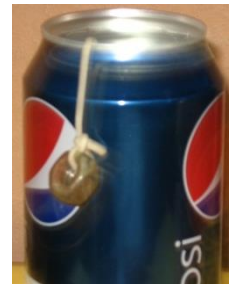
Una banda elástica (caucho)

Una tuerca (de buen peso para que elongué el caucho)



Procedimiento:

1. Abrir bien la parte superior de la lata.
2. Se abre un pequeño orificio en la parte inferior (base) de la lata.
3. se abre la banda elástica (caucho), de un extremo se fija o amarra la tuerca y del otro extremo se pasa por el pequeño orificio y se hace un nudo para que no se salga el caucho.
4. Se coloca la tuerca fuera de lata, con tal que el caucho quede estirado.



ANEXO 2

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE LICENCIATURA EN FÍSICA
Elaborado por: ERICK ORTIZ



Actividad

Luego de la construcción del Juguete responder las siguientes preguntas:

1. ¿Cómo harías para introducir la tuerca dentro de la lata, sin que tú y/o algún objeto toque la tuerca?

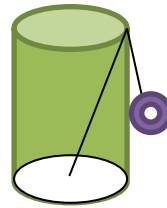
2. ¿Qué complicaciones tuviste al momento de elaborar el juguete?

3. Si tuviste complicaciones ¿cómo las solucionaste?

4. ¿Qué función cumple la banda elástica (caucho) en el juguete?

5. ¿Qué sucedería si en vez de una banda elástica (caucho) lo cambiáramos por una cuerda que no se pueda elongar (estirar)?

6. ¿Qué fuerzas actúan sobre el juguete? Realiza un diagrama de fuerzas.



7. Deja en caída libre el Juguete de Einstein (1m de altura o más), observa, describe y justifica lo sucedido.

8. Consulta a que hacía referencia Einstein con lo del Principio de Equivalencia. ¿Qué es?

9. ¿Qué relación existe entre un campo gravitacional y un sistema acelerado?

NOTA: Las respuestas de las preguntas debes entregarlas en hojas cuadriculadas y referencia los libros, páginas web, entre otros que consultaste para la solución de las preguntas.

ANEXO 3

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE LICENCIATURA EN FÍSICA

Elaborado por: ERICK ORTIZ



Estimado Estudiante Undécimo:

I.E.D. ESCUELA NACIONAL DE COMERCIO

“Lo que sabemos es una gota de agua; lo que ignoramos es el océano.”
Isaac Newton (1642-1727) Matemático y Físico Británico

Masa Inercial y Gravitacional y Peso aparente

En la Grecia clásica Aristóteles (384 a. C.) refutaba que los cuerpos más pesados caían primero que los más livianos, cada cuerpo se aceleraba distinto de acuerdo a su masa. Siglos después Galileo Galilei (1564-1642) refuta que esto no era así, que al dejar caer dos cuerpos de diferente masa los dos caerían al mismo tiempo. Al poco tiempo Isaac Newton (1642-1727) propone las leyes de movimiento, la primera es la Ley de Inercia: *Todo cuerpo continúa en su estado de reposo (es decir, velocidad nula) o de movimiento uniforme en línea recta a menos que sea forzado a cambiar su estado por fuerzas externas.* Es decir que si al aplicarse una fuerza a un cuerpo esta cambiaría su estado en reposo y se aceleraría allí comienza la segunda ley de movimiento: *la aceleración de un objeto es directamente proporcional a la fuerza resultante que actúa sobre él.* $F = m_i a$. Pero de aquí sale una propiedad muy importante sobre la masa, según la ley cuanto mayor masa y al aplicarse la misma fuerza su aceleración sería menor, nace la concepción de **masa inercial** *Si intentáramos cambiar la velocidad de un objeto, este se opondrá a dicho cambio. La inercia es sencillamente una propiedad de un objeto individual. En física, la masa inercial o masa inerte es una medida de la resistencia de una masa al cambio de velocidad. Cuanto mayor es la masa de un cuerpo, tanto menor es la aceleración de ese cuerpo.*

Newton también propone la Ley Universal de gravitación la cual hace referencia que existe una fuerza gravitacional: siendo esta una fuerza de atracción entre dos cuerpos, debido a que ambos poseen una masa, esta fuerza es muy débil

$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$, donde G es la constante gravitacional y tiene un valor $G = 6,672 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{Kg}^2}$.

m_1 Es la masa gravitacional activa (M_{GA}), esta es la masa la cual se encarga de atraer los cuerpos de menor masa a ella, ejemplo la Tierra nos atrae, siendo mayor la masa de la tierra atrae todos los cuerpos de menor masa a ella.

m_2 Es la masa gravitacional pasiva (M_{GP}), esta es la que se deja atraer y es acelerada por la de mayor masa.

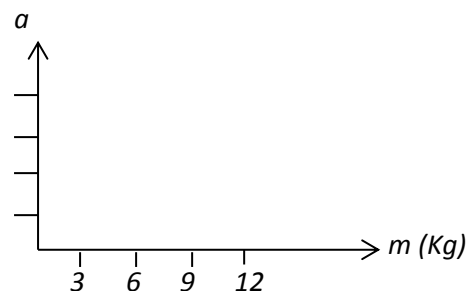
Pero según a las leyes de movimiento o de Newton todo cuerpo opone una resistencia al ser atraída por lo tanto la masa gravitacional pasiva también generaría una masa inercial se opondría al movimiento.

Actividad

De acuerdo con la segunda ley de movimiento

$F = ma$; $a = \frac{F}{m}$ realiza los siguientes ejercicios.

1. Al aplicar un fuerza de $F = 2N$ a diferentes masas de 3, 6, 9 y 12Kg. Calcula la aceleración de cada masa y luego realiza una gráfica aceleración contra masa.



ANEXO 3

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE LICENCIATURA EN FÍSICA



Elaborado por: ERICK ORTIZ

Al realizar los cálculos y la gráfica observas que ¿a mayor masa su aceleración es menor? SI, NO Justifica tu respuesta.

2. ¿Entonces si al dejar caer dos cuerpos de diferentes masas y se le está aplicando la misma fuerza gravitacional, podríamos decir, que por lo anterior una se aceleraría más que otra y caería primero la de mayor masa? SI, NO Justifica tu respuesta

- ✓ De acuerdo con la ley universal de gravitación realiza el siguiente experimento
Deja caer dos cuerpos de diferente masa desde la misma altura (Un borrador y un lápiz o el Juguete de Einstein y un lápiz) responde:

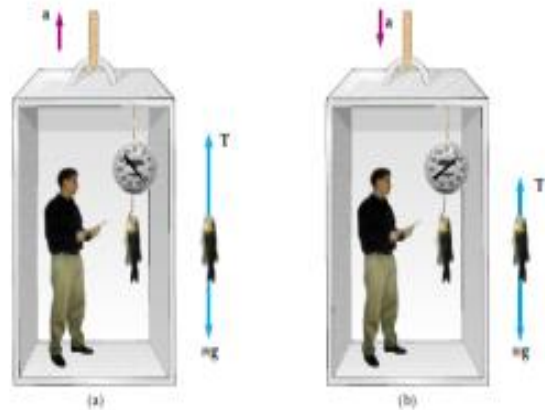
3. ¿las dos masas caen al mismo tiempo? Si, NO, ¿por qué crees que ocurre esto?

4. ¿Si los cuerpos pesados y ligeros se aceleran por igual en el campo de gravedad terrestre entonces la masa no es importante en un sistema de caída libre? SI, NO, Justifica tu respuesta

Nota: El **peso es la fuerza** que ejerce la gravedad sobre una masa y ambas magnitudes son proporcionales entre sí, pero no iguales, pues están vinculadas por el factor aceleración de la gravedad. $w = mg$ Por lo

tanto una cuerpo que tenga una masa 40Kg la fuerza que ejerce la gravedad sobre la masa $w = (40\text{Kg}) \left(9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) = 392\text{N}$

Razona responde las preguntas siguientes de acuerdo con las siguiente figura.



Observador en un marco inercial

En la figura (a) es sumatoria de fuerzas es $\sum F = T - mg = ma$ y en la figura (b) $\sum F = T - mg = -ma$. Para calcular el peso del pescado en ese caso se calcula T . Recuerda el peso $w = (40\text{Kg}) \left(9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) = 392\text{N}$ y si deseas conocer la masa simplemente tomas el peso y lo divides por la aceleración gravitacional $m = \frac{w}{g}$

Una persona pesa un pescado de masa m en una balanza, al acelerar el elevador en cualquier dirección (hacia arriba o hacia abajo) la báscula de donde cuelga el pescado variara por lo tanto la marcará un peso diferente a real, cuando se acelere el ascensor (hacia arriba o hacia abajo). Resuelve y responde.

5. La masa del pescado cuando el ascensor esta en reposo es de 20Kg , En la figura (a) el ascensor acelera hacia arriba $a = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Calcular la lectura de la balanza en Kg.

Ayuda $T = mg + ma$, cuando el ascensor acelera hacia arriba

- 40Kg
- 60Kg
- 10Kg

ANEXO 3

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE LICENCIATURA EN FÍSICA

Elaborado por: ERICK ORTIZ



d. $80Kg$

6. Ahora calcula la lectura de la balanza cuando el ascensor acelera hacia abajo, como si cayera libremente $a = g$
 $a = 9,8 \frac{m}{s^2}$.

Ayuda $T = mg - ma$, cuando el ascensor acelera hacia arriba

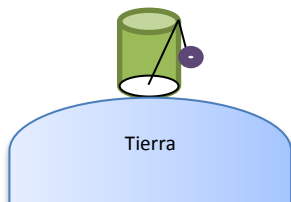
- a. $100Kg$
b. $0Kg$
c. $20Kg$
d. $40Kg$

De acuerdo con las respuestas de las preguntas 5 y 6 responde:

7. se podría decir que cuando se intenta calcular el peso del pescado y el ascensor está acelerando hacia arriba el peso aumenta. SI, NO Justifica tu respuesta.

8. se podría decir que cuando se intenta calcular el peso del pescado y el ascensor está acelerando hacia abajo el peso disminuye. SI, NO Justifica tu respuesta.

9. En el juguete de Einstein el peso de la tuerca hace elongar el caucho y se mantiene por fuera de la lata, cuando el juguete esta sobre una superficie por lo tanto:



¿si se deja en caída libre el Juguete la tuerca perdería su peso y el caucho volvería a su estado original ingresando la tuerca dentro de la lata? SI, NO, Justifica tu respuesta



10. ¿El ascensor al estar en caída y la balanza al no marcar peso, se podría decir que el pescado se encuentra en ingravidez como los astronautas?

Nota: La **masa** es la cantidad de materia de los cuerpos siempre será la misma en todo lugar lo único que variara es el peso ya que esta se encuentra en función del campo gravitatorio por lo tanto pesarás más en Júpiter donde la gravedad es de $27,4 \frac{m}{s^2}$ por lo tanto pesarás mas pero mantendrás la misma cantidad de masa

Referencias Bibliográficas:

- Serway, R (1997) Física Tomo I, 4ta Edición; Editorial McGraw-Hill
- Serway, R. Física para ciencias e Ingeniera Tomo I, 6ta Edición.
- Profesor en Linea*. (s.f.). Recuperado el 17 de Febrero de 2013, de <http://www.profesorenlinea.cl/fisica/masaypeso.htm>.
- Florez, V. J. (1997). El Principio de Equivalencia. En *La Ondas Gravitacionales. La gran ilusión* (págs. 71-77). México D. F: Fondo de Cultura Económica.

Estimado Estudiante Undécimo:
I.E.D. ESCUELA NACIONAL DE COMERCIO

“No podemos resolver problemas pensando de la misma manera que cuando los creamos.”
 Albert Einstein (1879-1955) Físico alemán nacionalizado estadounidense.

Principio de Equivalencia

El principio de equivalencia es la base de la Teoría General de la Relatividad propuesta por A. Einstein, principio el cual señala que un sistema acelerado es equivalente a un campo gravitacional. Pero para que Einstein desarrollara este principio primero pensó: “si una persona cae libremente no siente su propio peso; debido a que la masa inercial de los cuerpos es exactamente igual a su masa gravitatoria pues debido a ello todos los cuerpos se aceleran igual en un campo gravitatorio” (Peña, 2003). La masa inercial es la medida de resistencia al movimiento y la masa gravitacional la que atrae un cuerpo a otro existe masa gravitacional activa y pasiva; la M_{GP} opone una resistencia al ser atraída, por lo tanto la masa gravitacional pasiva también generaría una masa inercial, se opondría al movimiento y se explicaría por qué los cuerpos se aceleran de la misma manera al caer libremente en un campo gravitacional.

Tenemos

$$F = -G \frac{m_{GA} m_{GP}}{r^2}$$

Del 2da ley de Newton tenemos que $F = m_i a$ por lo tanto

$$m_i a = -G \frac{m_{GA} m_{GP}}{r^2}$$

$$a = -G \frac{m_{GA}}{r^2} \left(\frac{m_{GP}}{m_i} \right)$$

Como $\frac{m_{GP}}{m_i}$ se trata de la misma masa que se esta acelerando

$$a = -G \frac{M}{r^2}$$

Al ser de igual magnitud la masa que se opone al ser acelerada con la masa gravitacional que se deja atraer se explica por qué los cuerpos se aceleran de la misma manera en un campo gravitacional uniforme sin importar su masa y Einstein lleva con eso a que la gravedad y la inercia son lo mismo.

Por otro lado para un observador en caída libre, la gravitación en su entorno desaparece (Rago, 2001).



Figura 1

Una caída libre bajo influencia de un campo gravitacional (Figura 1), se le conoce como el principio de equivalencia débil.

Ahora imaginemos un ascensor a través del espacio con movimiento uniformemente acelerado (Figura 2). Esta aceleración uniforme es exactamente la misma que la aceleración con que un objeto cae en la Tierra, entonces las personas dentro del ascensor creerán que se encuentran en un campo gravitatorio igual a la Tierra.



Figura 2

Si se suelta un objeto y este cae hacia el suelo del ascensor tal como ocurriría si estuviésemos en la

ANEXO 4

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE LICENCIATURA EN FÍSICA
Elaborado por: ERICK ORTIZ



tierra, el observador predispone que está bajo un campo gravitacional; En otras palabras, los efectos (locales) de un campo gravitatorio son exactamente equivalentes a los que produce una aceleración uniforme apropiada (Peña, 2003). Conociéndose este como el Principio de Equivalencia Fuerte.

Curvatura de la luz

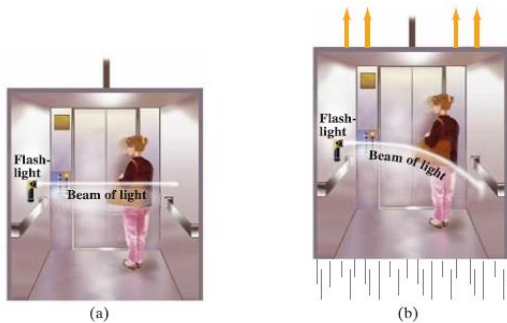


Figura 3. Representación de la curvatura de la luz en un ascensor. Imagen extraída de (Giancoli D. C., General Relativity: Gravity and the curvature of Space, 2009)

Se encuentra un observador en estado de reposo y fuera del ascensor, en la figura (3a) se envía un haz de luz desde una pared del ascensor, como en este momento el ascensor también se encuentra en reposo el haz de luz viaja horizontalmente. La figura (3b) el ascensor se acelera hacia arriba y la luz de curva, esto ocurre debido a que mientras el haz de luz viaja de un lado a otro el ascensor se eleva verticalmente respecto a la luz y se evidencia una desviación de esta, según el principio de equivalencia donde un sistema acelerado es equivalente a un campo gravitacional, la trayectoria de la luz de curva debido a la influencia del campo gravitatorio, así el principio de equivalencia explica la curvatura de la luz (Giancoli D. C., General Relativity: Gravity and the curvature of Space, 2009).

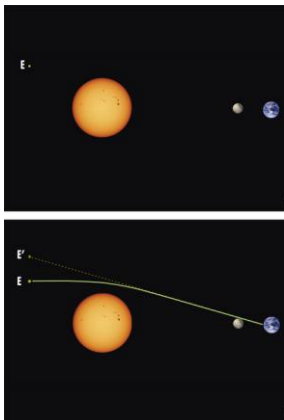
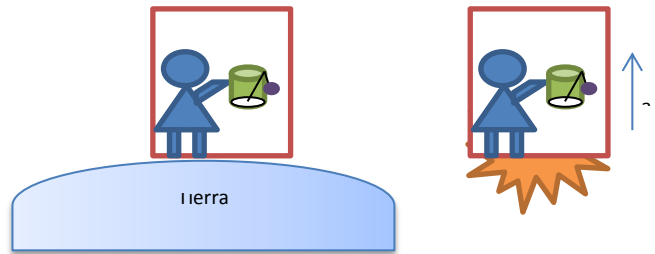


Figura 4 curvatura de la luz
<http://www.iac.es/cosmoeduca/gravedad/fisica/ent.jp>

Por lo tanto A. Einstein definió que la masa distorsiona el espacio generando así un campo gravitacional y los experimentos mentales que realizo por medio del Principio de equivalencia encontró que el campo gravitacional del Sol curvaba la luz y otros efectos, allí nació la Teoría General de la Relatividad que publico en el año de 1915

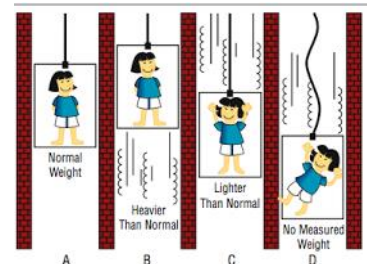
ACTIVIDAD

1. ¿Si soltásemos el juguete dentro de un ascensor que se encuentra acelerado uniformemente funcionaria igual como si lo soltáramos en la Tierra? SI, NO, justifica tu respuesta



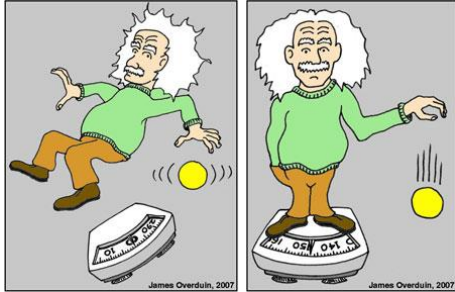
2. Define con tus palabras que es el Principio de Equivalencia

Por lo estudiado en la guía anterior sobre el ascensor, que un cuerpo al estar en caída libre no se siente su peso; Por lo tanto al dejar en caída el Juguete de Einstein...



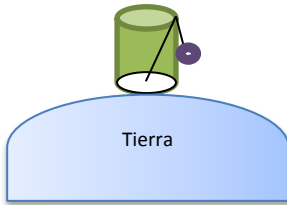
ANEXO 4

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE LICENCIATURA EN FÍSICA
Elaborado por: ERICK ORTIZ

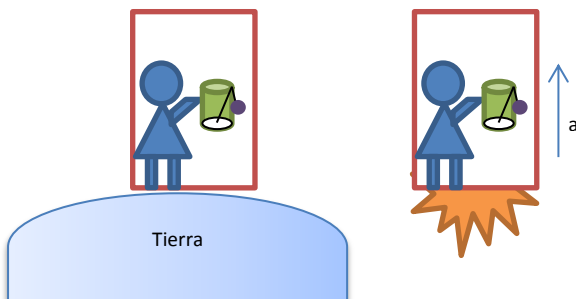


3. ¿Al soltar el juguete la tuerca y la lata perdería su peso y la fuerza de restitución del caucho tendría la suficiente fuerza para introducir la tuerca dentro de la lata? Si, NO, justifica tu respuesta

4. ¿Por qué al estar el juguete de Einstein sobre una superficie en la tierra (En reposo) el caucho no tiene la suficiente fuerza de introducir la tuerca?



Si al estar dentro de un ascensor sin ventanas y soltáramos el juguete de Einstein observamos que este cae hacia el suelo del ascensor.



5. ¿Cómo haríamos para saber si nos encontramos en la superficie de la Tierra o en un sistema acelerado?

6. ¿Qué relación existe entre un sistema acelerado y un campo gravitacional?

7. Al encontrarse en caída libre dentro de un ascensor o una caja, donde no se siente la resistencia del viento ¿se podría decir que se está flotando como los astronautas en el espacio? Si, NO Justifica tu respuesta

8. si al estar el ascensor en caída se siente que se está flotando ¿es correcto decir que la nave donde se encuentran los astronautas también está cayendo hacia la Tierra y por eso ellos flotan? Si, NO Justifica tu respuesta

9. Al estar en caída libre y no presenciar la resistencia del viento ¿se siente los mismos efectos de ingravidez? Si, NO, Justifica tu respuesta

ANEXO 4

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE LICENCIATURA EN FÍSICA
Elaborado por: ERICK ORTIZ



10. ¿Qué relación tiene la masa inercial y la masa gravitacional?

11. Te intereso la práctica del Juguete de Einstein para el conocimiento del Principio de Equivalencia.

12. Define con tus palabras el Principio de Equivalencia Débil y relaciónalo con el Juguete de Einstein.

13. Define con tus palabras el Principio de Equivalencia Fuerte

Bibliografía

Giancoli, D. C. (2009). General Relativity: Gravity and the curvature of Space. En *Physics for Scientists & Engineers with Modern Physics 4ta ed.* (págs. 1205-1209). United States of America: Pearson Prentice Hall.

Cosmo Educa. Gravitación Física avanzada extraído el 23 de febrero del 2013, de: <http://www.iac.es/cosmoeduca/gravedad/fisica/lent.jpg>

Kurt, R. (17 December 2009). ¿Qué es la caída libre?. Extraído el 23 de Febrero 2013, de http://manual-astronauta.blogspot.com/2009/12/blog-post_2494.html

Gardner, Martin. (1986). La explosión de la relatividad. Biblioteca Científica Salvat. (pp75-92). Barcelona

Peña, L. (2003). La idea más feliz de mi vida. En *Albert Einstein: navegante solitario 3a. ed* (págs. 56-60). México: Fondo de Cultura Económica, FCE.

Rago, H. (2001). *Relatividad General o la atractiva del ser*. Recuperado el 23 de Febrero de 2013, de http://webdelprofesor.ula.ve/ciencias/rago/cursos_archivos/minicursos/hablando_de_relatividad_2.pdf

www.elqueloniovolador.blogspot.com , Extraída el 26 de Febrero 2013

ANEXO 5
UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE LICENCIATURA EN FÍSICA
Elaborado por: ERICK ORTIZ



Fotogramas del Juguete realizadas por el autor del presente documento

ANEXO 5

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE LICENCIATURA EN FÍSICA
Elaborado por: ERICK ORTIZ



Fotos de Implementación

“Si buscas resultados distintos no hagas siempre lo mismo”.
Albert Einstein 1879-1955

CONSTRUCCIÓN DEL JUGUETE DE EINSTEIN

Introducción

Como se mencionó en el capítulo 2 se pueden construir diferentes tipos de juguetes de Einstein, a continuación mostrare dos, uno que se llevó al aula, figura 2.1b, el cual mostrare los pasos para el funcionamiento satisfactorio. Como se mencionó tanto la lata y la tuerca tienen que caer paralelamente para lograr que la tuerca se introduzca dentro de la lata.

El segundo juguete es diseñado bajo casi los mismos principio del juguete original de la figura 2.1a.

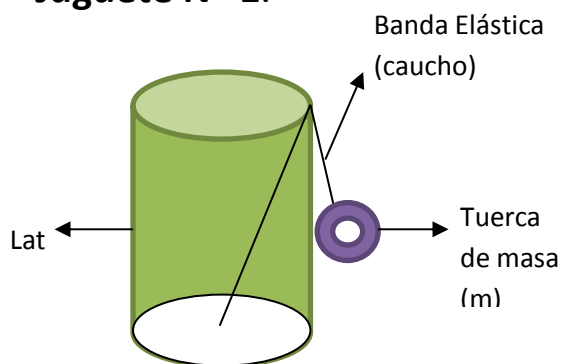
Construcción

El procedimiento se puede encontrar en el anexo 2, esta parte se mostrara como solucionar el problema que tanto la lata y la tuerca caigan paralelamente igual.

Cuando el juguete esta en caída el peso de la tuerca hace que gire la lata, por lo tanto toca igualar los pesos.

- Si se construye con una lata de gaseosa y una tuerca liviana se puede recurrir a rellenar el fondo de la lata con plastilina, como se ve en la siguiente figura.

Juguete N° 1:



Materiales

Una lata y/o tarro (gaseosa, pintura, etc)
Una banda elástica (caucho)
Una tuerca (de buen peso para que elongué el caucho)



Ilustración 6.1

- Si se construye con una lata más grande y una tuerca más pesada como se muestra en el anexo 5, se debe equilibrar el peso, en este caso se utilizó cemento, de igual manera se puede pintar la lata o colocar diferentes decoraciones.

ANEXO 6

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE LICENCIATURA EN FÍSICA

Elaborado por: ERICK ORTIZ



- ✓ Alambre o Tornillos y dos tablas de 60 cm de largo por 1 cm de ancho.



Ilustración 6.2

Para que quede el círculo del centro y no haga contacto con la banda elástica, se puede colocar un tubo y echar el cemento alrededor, así quedara como la ilustración 6.2.

Juguete Nº 2

Se construye un juguete el cual se asemeja al juguete original, la diferencia se busca materiales económicos y de fácil acceso.

Materiales:

- ✓ Un palo de escoba de 30 cm de largo.
- ✓ Una manguera transparente de 45 cm de largo, con un diámetro de 2 a 3 cm
- ✓ Un resorte débil de unos 10 cm de largo en su estado en inicial (sin elongarse).
- ✓ 15 cm de Nylon
- ✓ Una tuerca.
- ✓ Una armella pequeña
- ✓ Una copa

Procedimiento

A un extremo del palo de escoba se encaja la armella, de ella se sujeta un extremo del resorte.

Luego del otro extremo del resorte amarra el nylon.

Quita la parte inferior de la copa dejando solo la boca, que quede hueca y la introduce dentro de un extremo de la manguera.

Introduce el extremo del resorte que se encuentra amarrado el nylon, dentro de la manguera verificando que la otra punta del nylon salga por la parte superior de la copa.

E introduce el palo de escoba en la manguera, y lo sujeta con alambre o tornillos.

Del extremos que sale el nylon amarra la tuerca, la pone fuera de la copa y el resorte se elonga.

Para que la manguera no se curve por culpa del peso de la tuerca, coloca la tabla a cada lato de la manguera y las sujeta con alambre enderezándola.



Ilustración 6.3

ANEXO 6

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE LICENCIATURA EN FÍSICA
Elaborado por: ERICK ORTIZ



Funcionamiento

La función del palo de escoba es para sujetar y guiar de un modo seguir el juguete cuando está en caída para que no ocurra algún accidente.

Igual que todos los juguetes para el Principio de Equivalencia se dejan en caída.

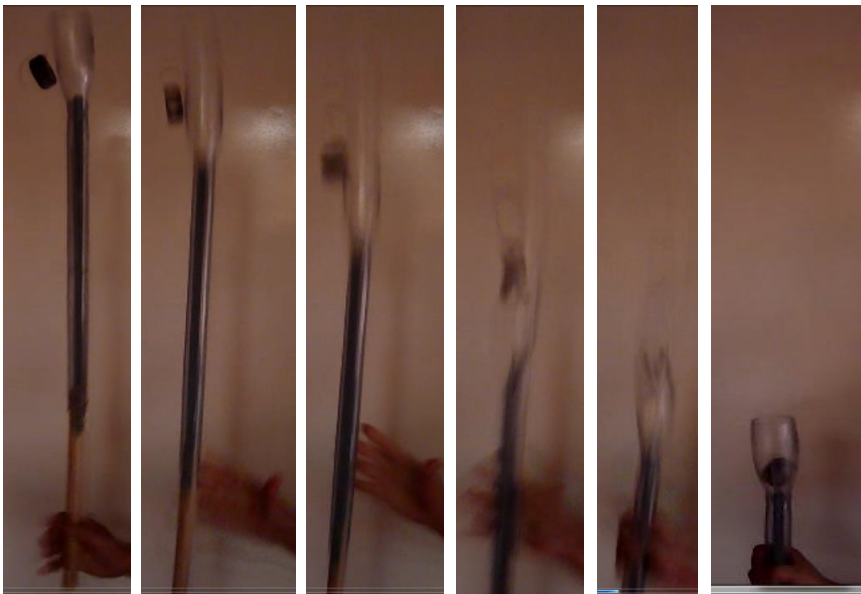


Ilustración 6.4

Costos

Manguera	\$ 4000
Resorte	\$ 1500
Tuerca	\$ 1500
Tablas y palo	\$ 1500
Nylon	\$ 200
TOTAL	\$ 8700