

HERRAMIENTA DIDÁCTICA PARA LA ENSEÑANZA DE ALGUNOS  
CONCEPTOS DE RELATIVIDAD ESPECIAL PARTIENDO DE UN EVENTO  
DE NATURALEZA ELECTROMAGNÉTICA.

JENNY PAOLA MARTÍNEZ MADRIGAL

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL  
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

BOGOTÁ D.C.

2012



HERRAMIENTA DIDÁCTICA PARA LA ENSEÑANZA DE ALGUNOS  
CONCEPTOS DE RELATIVIDAD ESPECIAL PARTIENDO DE UN EVENTO  
DE NATURALEZA ELECTROMAGNÉTICA.

JENNY PAOLA MARTÍNEZ MADRIGAL

Trabajo de Grado para optar  
al título de Licenciada en Física

Asesor  
Nestor Méndez Hincapié  
Prof. Departamento de Física

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL  
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
BOGOTÁ D.C.

2012



*A Dios y a la vida por permitirme vivir cada uno de los días de estos seis años.  
A mis padres Jose Angel y Martha por todo su amor, esfuerzo y dedicación para  
hacer de mi carrera una realidad.*

*A mi hermano Sebastián por sacarme una sonrisa en momentos de estrés con sus  
ocurrencias.*

*A mi hermana Daniela por inspirar la idea de este trabajo y porque sé que tiene  
mucho talento por explotar.*

*A Rafa Rojas por todos estos años de constancia y lealtad que me han dado fuerza  
en los momentos más difíciles y me convencen de que después de mi familia es a  
quien más quiero.*

*A la Universidad Pedagógica Nacional porque un día recibió a una niña y hoy le  
entrega una persona madura a la sociedad, a la cual le mostró que el mundo va más  
allá del horizonte que alcanzamos a ver y que nada ni nadie debe ni puede apagar la  
esencia de nuestro pensamiento.*

*A mi asesor Nestor Mendez por aceptar asesorarme, por su paciencia, su guía y sus  
aportes a este trabajo.*

*A los maestros del departamento de Física que me dictaron clase, por transmitirme  
sus conocimientos y enseñarme lo bonito de ser docente; en especial a los profesores  
Mauricio Rozo, Isabel Garzón, Fabio Vélez, Orlando Organista, M<sup>a</sup> Mercedes  
Ayala, Rusby Malagón y Liliana García, porque los admiro por considerar que son  
excelentes docentes en todo sentido.*

*A Henry Beltrán por todas esas charlas de física, por ser como es, él realmente sabe  
cuanto me apasiona mi carrera.*

*A Álvaro Baquero por ser amigo y compañero, y por matarme de la risa con una de  
sus irónicas frases llenas de crueldad graciosa.*

*A mis compañeros del departamento Diego V, William R., Angela A., Anyi T. y  
Laura C. por hacer mi estadía en la Universidad amena con su compañía en  
algunos momentos, sus consejos...y por qué no, sus chismecitos.*

*A mis compañeros de otras carreras: Mao Martínez porque a pesar de todo aún  
estamos el uno para darle una palabra de aliento al otro y su ayuda fue muy valiosa  
la primera mitad de mi carrera; a Andrés Rodríguez porque durante seis años ha  
estado ahí para ir por una hamburguesa y charlar de la vida loca; a Pablo  
Centurion porque hemos crecido juntos así no haya mucho tiempo y a Leidy  
Herrera por su compañía, sus consejos y su amistad que han sido una fortaleza los  
últimos días de mi carrera.*

*A los compañeros del curso Programación de Computadores I 2012-1 por su valiosa  
colaboración en la implementación, espero les sirva mucho.*

*A Álvaro Giraldo por enseñarme tantas cosas de la vida y por nunca olvidarse de  
esta bruja que aprende de sus cátedras con una copa de vino seco.*

*A todos los compañeros que he conocido de la UPN y de fuera que han compartido  
conmigo momentos agradables, (a los mencionados y no mencionados) por las  
farras, la cervezas, los vinos, los tragos chirris y las risas que traen recuerdos que  
nunca se olvidaran.*

*A todos les agradece mucho esta Licenciada en Física.*



## RAE

**Tipo de documento:** Tesis de Grado.

**Acceso al documento:** Universidad Pedagógica Nacional.

**Título del documento:** Herramienta Didáctica Para La Enseñanza De Algunos Conceptos De Relatividad Especial Partiendo De Un Evento De Naturaleza Electromagnética.

**Autor:** Martínez Madrigal Jenny Paola.

**Publicación:** Bogotá, 2012, 96p.

**Unidad Patrocinante:** Universidad Pedagógica Nacional.

**Palabras Claves:** Herramienta Didáctica, Aprendizaje Significativo, Enseñanza de la Física, Multimedia, Relatividad, Electromagnetismo.

**Descripción:** Tesis de grado que propone una herramienta didáctica para la enseñanza de algunos conceptos de relatividad especial partiendo de un evento de naturaleza electromagnética, dirigida a estudiantes de pregrado de licenciatura en física que no han tomado el curso de Relatividad. El tipo de investigación que se llevó a cabo es holística proyectiva, siguiendo una metodología que permitió la implementación de la herramienta en el aula de clase; arrojando resultados de los cuales posterior a su análisis se concluyó que los estudiantes lograron un aprendizaje significativo de los contenidos que abarca la herramienta mencionada y que el uso de multimedia como apoyo a una clase basada en la técnica expositiva trae enormes ventajas para la enseñanza de la física como la motivación del estudiante, la ayuda con ideas que pueden ser abstractas y la recolección rápida de datos e información, entre otras.

**Fuentes:** *Trabajo de campo:* Implementación de la herramienta didáctica en el aula de clase.

*Instrumentos de recolección de datos:* Guía de observación, Guía de entrevista, Prueba de conocimiento.

*Bibliografía:* Treinta y nueve referencias bibliográficas.

**Contenidos:** *Objetivo General:* Ofrecer una herramienta para la enseñanza/aprendizaje de términos básicos de relatividad especial, particularmente de la idea de contracción de la longitud, partiendo el análisis de un evento de naturaleza electromagnética.

*Objetivos específicos:*

1. Observar que ventajas en la enseñanza/aprendizaje de la física tiene el uso de multimedia como apoyo a una clase basada en la técnica de enseñanza por exposición.

2. Identificar qué estrategias de enseñanza se pueden aplicar en la construcción de la herramienta a ofrecer, para propiciar el aprendizaje significativo.

3. Propiciar en los alumnos el aprendizaje significativo aplicado a términos básicos de relatividad restringida, en especial a la idea de contracción de la longitud, utilizando material potencialmente significativo.

*Tipo de investigación:* Holística Proyectiva.

*Capítulo Uno -Marco Teórico-:* Compuesto por un marco disciplinar que presenta las temáticas de física tomadas en cuenta para la elaboración de la herramienta didáctica y por un marco pedagógico que muestra las teorías de las que se partió para escoger las estrategias de enseñanza utilizadas con los alumnos.

*Capítulo Dos -Metodología-:* Describe el tipo de investigación que se adoptó y sus fases; también menciona con detalle los pasos que se siguieron para llevar a cabo la investigación (unidades de estudio, instrumentos de recolección de datos, técnicas de análisis).

*Capítulo Tres -Descripción de la Herramienta-:* Describe con detalle la estructura y contenido de la herramienta propuesta.

*Capítulo Cuatro -Aplicación de Técnicas y Análisis-:* Relata la aplicación de los instrumentos de recolección de datos y el análisis de los resultados que arroja dicha aplicación.

**Metodología:** *Definición de eventos (variable):* Aprendizaje.

*Selección de unidades de estudio (Muestra referencial):* Estudiantes licenciatura en física que ya tomaron el curso Electromagnetismo I y no han tomado el curso de Relatividad.

*Selección de instrumentos de recolección de datos:* Guía de observación, Guía de entrevista, Pruebas de conocimiento.

*Descripción procedimiento de recolección de datos.*

*Selección técnica de análisis:* Análisis de contenido.

*Presentación y descripción de la herramienta.*

*Aplicación de técnicas de recolección de datos.*

*Análisis de resultados.*

*Conclusiones.*

**Conclusiones:** Se ofreció una herramienta para la enseñanza/aprendizaje de términos básicos de relatividad especial. Se confirmó que el uso de multimedia como apoyo a una clase basada en la técnica de enseñanza por exposición tiene enormes ventajas para el proceso de enseñanza/aprendizaje de la física. Se identificaron y aplicaron diferentes estrategias de enseñanza que propiciaron un aprendizaje significativo de términos de relatividad especial. En la aplicación de la herramienta es muy importante el papel del docente como orientador y canal de comunicación entre el estudiante y los contenidos a aprender. Puede pensarse en incluir este material en un curso posterior al de Electromagnetismo I para después verificar si la misma muestra de estudiantes mejora su desempeño en el curso de Relatividad.

**Fecha Elaboración resumen**    Día: 13    Mes: 05    Año: 2012.



# Contenido

<b>Contenido</b>	<b>I</b>
<b>Introducción</b>	<b>III</b>
<b>1. Marco Teórico</b>	<b>1</b>
1.1. Marco Disciplinar . . . . .	1
1.1.1. Electromagnetismo . . . . .	1
1.1.2. Relatividad . . . . .	5
1.1.3. Relatividad de los campos eléctrico y magnético . . . . .	9
1.2. Marco Pedagógico . . . . .	14
<b>2. Metodología</b>	<b>17</b>
2.1. Tipo de investigación . . . . .	17
2.2. Diseño de investigación . . . . .	17
2.2.1. Definición de evento (variable). . . . .	17
2.2.2. Definición unidades de estudio . . . . .	18
2.2.3. Selección instrumentos de recolección de datos . . . . .	19
2.2.4. Descripción procedimiento de recolección de datos . . . . .	20
2.2.5. Selección de las técnicas de análisis . . . . .	27
<b>3. Descripción de la Herramienta</b>	<b>28</b>
3.1. Descripción de la estructura del sitio web. . . . .	28
3.2. Descripción del contenido . . . . .	29
3.3. Multimedia . . . . .	31
3.3.1. Descripción tipos de multimedia utilizados en el sitio web . . .	31
<b>4. Aplicación de Técnicas y Análisis</b>	<b>36</b>
4.1. Técnica Uno y Técnica Dos . . . . .	36
4.2. Técnica Tres . . . . .	43

4.2.1. Prueba Diagnóstico . . . . .	43
4.2.2. Prueba Intermedia . . . . .	45
4.2.3. Prueba Final . . . . .	45
<b>Conclusiones</b>	<b>48</b>
<b>Referencias</b>	<b>49</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>50</b>
<b>Anexos</b>	<b>52</b>
<b>A. Marco Legal</b>	<b>53</b>
A.1. Nombre de Dominio . . . . .	53
A.1.1. Normatividad . . . . .	53
A.1.2. Artículo 91 de la Ley 633 Diciembre del año 2000 . . . . .	54
A.1.3. Sentencia C-1147 de octubre 31 de 2001 . . . . .	54
A.1.4. Concepto 05046273 de junio 20 de 2005 . . . . .	54
<b>B. Guías de Trabajo</b>	<b>55</b>
B.1. Guía Uno: Repaso de Electromagnetismo. . . . .	55
B.2. Guía Dos: Relatividad Clásica. . . . .	60
B.3. Guía Tres: Coeficiente de Lorentz. . . . .	63
B.4. Guía Cuatro: Relatividad Especial y Electromagnetismo I. . . . .	66
B.5. Guía Cinco: Relatividad Especial y Electromagnetismo II. . . . .	69
<b>C. Pruebas de conocimiento</b>	<b>74</b>
C.1. Prueba Diagnóstico . . . . .	74
C.2. Prueba Intermedia . . . . .	77
C.3. Prueba Final . . . . .	79

# Introducción

Hoy por hoy electromagnetismo y relatividad son dos teorías desarrolladas cada una sobre sus bases propias y es usual su enseñanza por separado y que no se establezca ninguna relación entre ellas, afirmación que resulta curiosa, pues es bien sabido que Albert Einstein planteó su fascinante teoría partiendo del análisis de la correspondencia entre el campo eléctrico y el campo magnético; desde este ángulo, es considerable la posibilidad de enseñar relatividad partiendo de fenómenos electromagnéticos que evidencien los conceptos e ideas sobre los que se sustenta esta teoría a estudiantes de pregrado de licenciatura en física; una de las ideas que sería posible transmitir a los alumnos es la de contracción de la longitud, haciendo un análisis sobre la fuerza que actúa sobre una partícula cargada que se mueve con respecto a un cable por el que circula una corriente continua. Con base en lo anterior es preciso cuestionarse: **¿Cuáles serían las características de una herramienta para la enseñanza/aprendizaje de términos básicos de relatividad especial (particularmente de la idea de contracción de la longitud) dirigida a estudiantes de licenciatura en física de la Universidad Pedagógica Nacional que no han tomado el curso de relatividad, partiendo del análisis de un evento de naturaleza electromagnética?**, esta pregunta constituye la problemática que se toma como eje central de este trabajo de grado.

En Colombia y Latinoamérica muchos autores han diseñado estrategias didácticas para la enseñanza/aprendizaje de diversos tópicos de física. La implementación de estas estrategias ha arrojado resultados favorables en la mayoría de los casos, sin embargo, las temáticas que se abordan casi siempre corresponden a la física clásica y son muy pocas las estrategias que se centran en transmitir ideas que le competen a la física moderna; lo cual trae consecuencias entre las que cabe mencionar la lentitud del proceso de enseñanza/aprendizaje de la física en los niveles medio y universitario así como la desactualización de docentes y estudiantes con respecto a la actualidad de la disciplina; por otra parte, si se examina la población a la que están dirigidas dichas estrategias, es frecuente observar que son alumnos cuyo nivel de escolaridad corresponde al bachillerato, lo cual es positivo desde un punto de vista en el que se considere un futuro con individuos más capacitados para el estudio de la física tanto en colegios como en universidades, pero mientras tanto, hay que pensar qué estrategias se pueden llevar a cabo con los estudiantes actuales de pregrado para que logren una comprensión de las diferentes temáticas tanto de física clásica como de física moderna; ahora bien, centrándose en la física moderna y haciendo énfasis en la

relatividad, es frecuente ver que los estudiantes tienen problemas para el aprendizaje de esta teoría, pues deben apropiarse de ideas que muchas veces van en contra de su «sentido común» y que requieren de un alto nivel de abstracción (por lo que se suele recurrir a experimentos mentales) a diferencia de temáticas como las de mecánica clásica por ejemplo, donde es posible observar diferentes fenómenos por medio de la experimentación en el aula y en la vida cotidiana como tal; esta descripción será incompleta, si no se tiene en cuenta que desde el bachillerato los alumnos ya tienen en su estructura cognitiva ideas previas de los conceptos de mecánica clásica como posición, desplazamiento, rapidez y fuerza entre otras, que aunque en su mayoría no están estructuradas formalmente, si son de utilidad para «engranarlas» con nuevas ideas acerca de estos conceptos (como definiciones formales, expresiones matemáticas, etc) y así lograr una comprensión más rápida de los mismos; lo que pasa con el aprendizaje de la relatividad es que es muy común que los alumnos no tengan ninguna idea previa acerca de la teoría, pueda que sepan de cinemática y de dinámica que son tópicos que deben considerar para poder comprender ciertos aspectos, pero en sí, no tienen ninguna noción de lo que abarca o de la terminología que usa, por lo cual el proceso de enseñanza/aprendizaje se hace más complicado y extenso, tanto para el docente como para los estudiantes; debido a esto, en algunas ocasiones el tiempo estimado para el curso culmina sin que el programa se haya visto completo y la planeación del docente se haya ejecutado en su totalidad, pues fue necesario profundizar y/o reforzar temas hasta que los alumnos comprendieron; de ser así, las consecuencias de no terminar un curso de relatividad para un estudiante de licenciatura en física son negativas, pues independientemente de su autonomía, los vacíos conceptuales que pueda tener le traerán problemas para abordar otras temáticas de física moderna. Retomando la idea de las características que debe tener la herramienta para la enseñanza/aprendizaje mencionada, es vinculada dicha idea a los estudiantes de pregrado de licenciatura en física de la Universidad Pedagógica Nacional y a la Teoría Especial De La Relatividad, pues se considera que esta teoría puede ser presentada a los alumnos partiendo del electromagnetismo que al fin de cuentas es de donde verdaderamente procede y es un tópico con el que los estudiantes ya están familiarizados por su curso de Electromagnetismo I, correspondiente al tercer semestre del proyecto curricular de la licenciatura, con el fin de que al llegar a su curso de Relatividad, incluido en el programa del sexto semestre del proyecto curricular, las ideas previas que puedan tener acerca de la teoría contribuyan a acelerar el proceso de enseñanza/aprendizaje, haciendo más comprensibles nuevas ideas acerca de algunos conceptos o en el mejor de los casos el curso se pueda iniciar desde

un punto avanzado, lo cual permitiría culminar con todas las temáticas vistas y por ende con estudiantes mejor preparados para iniciar el ciclo de profundización de la carrera, esta propuesta se plantea como una actividad paralela a cualquiera de los cursos de Electromagnetismo o al curso Laboratorio de Física Moderna.

Para que las ideas anteriormente expuestas sean un hecho, el objetivo general de este trabajo es **ofrecer una herramienta para la enseñanza/aprendizaje de términos básicos de relatividad especial, particularmente de la idea de contracción de la longitud, partiendo del análisis de un evento de naturaleza electromagnética**. Esta herramienta es un sitio web en el que el estudiante puede encontrar una serie de instrumentos para construir su conocimiento de la temática que se trabaje en el aula. Fue diseñada pensando en apoyar a los estudiantes con las ideas que puedan ser abstractas por medio de videos, animaciones y simulaciones que permiten ilustrar de una forma didáctica en qué consisten algunos fenómenos que no pueden ser observados a simple vista, lo cual contribuye a incentivar la motivación y el trabajo extraclase por el impacto visual que este material causa en el alumno y por la posibilidad de interacción entre éste, el computador, sus compañeros y el docente; además se estima que se ofrece un material económico y de fácil transporte al que el estudiante puede acceder desde la comodidad de su casa o por medio de la red de internet con la que cuenta la universidad, evitando métodos como la toma de fotocopias y por consiguiente cuidando su presupuesto, haciendo posible que dicho material sea compartido o utilizado en cualquier lugar con acceso a la web; lo cual lleva al objetivo de **observar que ventajas en la enseñanza/aprendizaje de la física tiene el uso de multimedia como apoyo a una clase basada en la técnica de enseñanza por exposición**, es decir, el proceso consiste en llevar a cabo sesiones de clase donde se le explica al alumno la temática usando la técnica expositiva y utilizando algunas estrategias de enseñanza para que posteriormente el estudiante ingrese al sitio y desarrolle una serie de actividades usando diferentes instrumentos que propician el aprendizaje significativo de los conceptos expuestos. También se pretende **identificar qué estrategias de enseñanza se pueden aplicar en la construcción de la herramienta a ofrecer, para propiciar el aprendizaje significativo** mencionado y por lo tanto, de aquí se desprende el objetivo de **propiciar en los alumnos este tipo de aprendizaje aplicado a términos básicos de relatividad restringida, en especial a la idea de contracción de la longitud, utilizando material potencialmente significativo**, lo cual llevará a evidenciar a los estudiantes la relación entre electromagnetismo y relatividad, partiendo del análisis de un evento que sustenta la

correspondencia entre campo eléctrico y campo magnético.

Como se mencionó al principio, la idea de usar multimedia como herramienta de enseñanza ha inspirado varios trabajos de investigación en Colombia y otros países latinoamericanos como Brasil y Cuba, de los cuales se han podido concluir un buen número de ventajas para el aprendizaje, entre las que se cuenta la contribución a la globalización de la educación (Toro, Deiva, Barco y Rojas), el despertar interés en el estudiante (Ortega, Medellín y Martínez, 2000), el mejoramiento del desempeño académico (Rojas et. al., 2010), el desarrollo de habilidades en los alumnos para resolver problemas y la comprensión profunda de fenómenos físicos (Medeiros y Medeiros, 2002) entre otras; así mismo, se han encontrado dificultades como la desactualización de los maestros con respecto a las teorías de aprendizaje, la falta de formación docente en nuevas tecnologías, hardware y software que rápidamente se vuelven obsoletos (Fiolhais y Trindade, 2003) y el hecho de que las animaciones no sean una copia fiel de la naturaleza o de que los PC's no sean substitutos de la experiencia real (Medeiros y Medeiros, 2002), lo que ha contribuido a continuar investigando para mejorar el uso de esta herramienta aplicada a la educación; por lo pronto, se espera que la herramienta descrita aquí sea de utilidad para docentes y estudiantes de licenciatura en física que se preocupen por mejorar la calidad en la enseñanza de esta disciplina y de las ciencias en general con el fin de contar con alumnos más y mejor preparados para el estudio de diferentes fenómenos. Para hacer este trabajo de grado, el tipo de investigación que se escogió es la investigación holística proyectiva, pues se trabajó en torno a la elaboración de un propuesta para darle solución a un problema de un grupo en particular, partiendo de un diagnóstico preciso de las necesidades del momento, donde es inherente a dicha elaboración el diseño, la creatividad y la planeación en perspectiva; el contenido es el siguiente: el capítulo uno está compuesto por un marco disciplinar que encierra las temáticas de física que se tuvieron en cuenta para desarrollar el material de trabajo para los alumnos, así como por un marco pedagógico que incluye las teorías que se consideraron para escoger las estrategias de enseñanza utilizadas para la construcción de la herramienta, con el fin de lograr en los alumnos un aprendizaje significativo; en el capítulo dos se detalla la metodología seguida para desarrollar el proyecto; en el capítulo tres se hace una descripción de la herramienta de enseñanza/aprendizaje y finalmente en el capítulo cuatro se relata la implementación de la herramienta, los resultados obtenidos y su respectivo análisis, para posteriormente concluir las ventajas de esta implementación así como mencionar las limitaciones que se presentaron y las recomendaciones para futuras continuaciones o investigaciones paralelas.

# Capítulo 1

## Marco Teórico

### 1.1. Marco Disciplinar

#### 1.1.1. Electromagnetismo

Al iniciar el siglo XIX muchos de los fenómenos eléctricos y magnéticos eran de por sí bien conocidos. Se sabía que hay dos tipos de cargas eléctricas que se atraen o se repelen<sup>1</sup> con una fuerza cuya magnitud fue establecida por Charles Augustin de Coulomb (1736-1806); se sabía también que trozos de magnetita (imán natural) pueden atraerse o repelerse entre sí y que suspendidos libremente se orientan en dirección norte-sur lo que condujo al útil invento de la brújula; fue así como electricidad y magnetismo se desarrollaron como ciencias independientes una de la otra.

En el año 1820 un docente de física danés, mientras dictaba su clase, se dio cuenta de que existía una interacción entre los imanes y la electricidad en movimiento, ya que una brújula se orientaba perpendicularmente a un cable con corriente; a esta interacción Hans Christian Oersted (1777-1851) la llamó electromagnetismo y no fue la única, posteriormente André Marie Ampere (1775-1836) y Michael Faraday (1791-1867) mostrarían que corrientes eléctricas producen efectos magnéticos e imanes en movimiento producen corrientes eléctricas. En 1864 se formularon cuatro ecuaciones que sintetizaron las interacciones entre electricidad, magnetismo y las propiedades de cada uno y predijeron la existencia de ondas electromagnéticas así como su velocidad; la importancia de dichas formulaciones radica en la expresión matemática del electromagnetismo y son fruto del trabajo de James Clerk Maxwell (1831-1879). Posteriormente Heinrich Hertz (1857-1894) produjo ondas cortas de radio, una aplicación práctica de las ondas electromagnéticas de Maxwell.

---

<sup>1</sup>Tomado de [www.ugr.es/jillana/SR/sr8.pdf](http://www.ugr.es/jillana/SR/sr8.pdf). p. 1.

Por experiencia en el laboratorio se sabe que al frotar una barra de plástico con piel animal adquiere **carga negativa** y al frotar una barra de vidrio con un trozo de seda adquiere **carga positiva**, se sabe también que cargas opuestas se atraen y cargas iguales se repelen (Resnick, 1977) y que un cuerpo se puede electrificar por **conducción** o por **inducción**. Cuando la materia que se encuentra en un sistema determinado no atraviesa los límites de éste, se dice que dicho sistema está aislado, partiendo de esto se enuncia la **ley de conservación de la carga**: *La carga eléctrica total en un sistema aislado nunca varía* (Purcell, 2001)<sup>2</sup>; ahora bien, esta cantidad además de conservarse es invariante, por lo tanto, la carga total en un sistema no varía por el movimiento de los portadores de carga (Íbid, p.170) independientemente del sistema de referencia desde donde éstos sean observados. Cabe mencionar que la **la carga está cuantizada**, es decir, la magnitud de la carga del electrón o del protón es una unidad natural de carga y toda cantidad observable de carga eléctrica siempre será un múltiplo entero de esta unidad básica (Sears, Zemansky, Young y Freedman, 2008, p.796).

Cuando dos partículas cargadas eléctricamente interactúan, ejercen entre sí una fuerza conocida como **fuerza eléctrica**. Charles Augustin de Coulomb (1736-1806) estudió con detalle esta fuerza y propuso que *la magnitud de cada una de las fuerzas eléctricas con que interactúan dos cargas puntuales es directamente proporcional al producto de las cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa* (Íbid, p.800). La expresión matemática de esta ley es la ecuación ( B.13).

$$F = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2} \quad (1.1)$$

Es conveniente considerar que una carga fuente ubicada en un punto del espacio tiene un efecto sobre el medio que la rodea y que a su vez este medio afecta a una carga ubicada dentro de él, es decir, este medio genera un campo entre las cargas que permite su interacción y es llamado **campo eléctrico**. Este concepto ofrece otra manera de formular la ley de Coulomb, ya que la fuerza eléctrica sobre un cuerpo cargado es ejercida por el campo eléctrico creado por otros cuerpos cargados (Sears et al., 2008). La intensidad de campo eléctrico  $\mathbf{E}$  es la fuerza sobre una carga de prueba  $q_0$  ubicada en un punto del campo de una carga fuente, expresada mediante la ecuación ( 1.2).

$$\mathbf{E} = \mathbf{F}/q_0 \quad (1.2)$$

---

<sup>2</sup>Por carga eléctrica total se entiende la suma algebraica de la carga positiva y la carga negativa presente en cierto instante.



La unidad de magnitud de intensidad de campo eléctrico  $\mathbf{E}$  es  $N/C$ . Como la fuerza es una magnitud vectorial, el campo eléctrico también lo es, si la carga de prueba es positiva el campo tiene la misma dirección de la fuerza mientras que si la carga de prueba es negativa el campo tiene dirección opuesta a la fuerza. Gráficamente  $\mathbf{E}$  se representa mediante **líneas de fuerza**, que son rectas o curvas imaginarias que se trazan en una región del espacio (de cargas positivas a cargas negativas) y cuyas tangentes muestran la dirección del vector campo eléctrico en un punto dado; éstas nunca se cruzan y su separación da la idea de la magnitud del campo.

Las partículas cargadas en reposo son fuentes de campos eléctricos, sin embargo cuando una partícula cargada está en movimiento además de generar este campo también induce un **campo magnético**. El campo magnético también es una magnitud vectorial y así mismo se puede representar mediante **líneas de inducción**.<sup>3</sup> La **inducción magnética**  $\mathbf{B}$  se define partiendo del hecho de que si una carga positiva de prueba  $q_0$  que se mueve con una velocidad  $\mathbf{v}$  es desviada por una fuerza  $\mathbf{F}$  en un punto  $P$ , entonces hay una inducción magnética  $\mathbf{B}$  en el punto  $P$ , siendo  $\mathbf{B}$  un vector que satisface la ecuación ( 1.3):

$$\mathbf{F} = q_0 \mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad (1.3)$$

Donde  $\mathbf{F}$  es la **fuerza magnética** perpendicular al plano formado por  $\mathbf{v}$  y  $\mathbf{B}$ .  $F$  se anula cuando  $\mathbf{v}$  es cero o paralela a  $\mathbf{B}$  y toma su máximo valor cuando  $\mathbf{v}$  es perpendicular a  $\mathbf{B}$ :  $|\mathbf{F}| = q_0 |\mathbf{v}| |\mathbf{B}|$  (Resnick, 1977). La unidad de  $\mathbf{B}$  es  $N \cdot s/m^2$  también conocida como *weber/m<sup>2</sup>*. La ley de Coulomb expresa la fuerza ejercida sobre una partícula cargada en movimiento o en reposo producida por *una carga en reposo* así como la fuerza magnética está asociada a las cargas fuente que se encuentran en movimiento (French, 1988. p.270). Si una partícula cargada se mueve en un medio en el que hay tanto un campo eléctrico como un campo magnético, la fuerza resultante sobre la partícula es la suma de la fuerza eléctrica más la fuerza magnética, es decir una **fuerza electromagnética** expresada por la ecuación ( 1.4):

$$\mathbf{F} = q_0 \mathbf{E} + q_0 \mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad (1.4)$$

Con esta fórmula se pueden definir  $\mathbf{B}$  y  $\mathbf{E}$  en función de las fuerzas que se ejercen sobre las cargas en diversos estados de movimiento<sup>4</sup> en un punto dado y es conocida como **fuerza de Lorentz** en homenaje a H.A Lorentz.

---

<sup>3</sup>Análogas a las líneas de fuerza del campo eléctrico.

<sup>4</sup>Incluyendo el reposo.

Fue Maxwell quién se dio cuenta de que con tan solo cuatro ecuaciones se describe el electromagnetismo en su totalidad. La primera de estas llamadas *ecuaciones de Maxwell*<sup>5</sup> es la **ley de Gauss para la electricidad** que establece que *el flujo eléctrico  $\Phi_E$  a través de una superficie cerrada es proporcional a la carga total encerrada* (Sears et al., 2008) y está definida por la ecuación ( 1.5):

$$\epsilon_0 \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = q \quad (1.5)$$

Donde  $\epsilon_0$  se llama constante de permitividad del vacío ( $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} C^2/N - m^2$ ) y  $q$  es la carga neta encerrada por una superficie gaussiana. Esta ecuación expresa la geometría del campo eléctrico, es decir como una fuente de campo eléctrico modifica el espacio.

La segunda ecuación ( 1.6) es la **ley de Gauss para el magnetismo**, expresa que *el flujo magnético  $\Phi_B$  a través de una superficie cerrada es cero*. (Dios, Artigas, Recolons, Comerón y Canal, 1998, p.123)

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0 \quad (1.6)$$

Esta ley evidencia que no existen monopolos magnéticos así como es imposible crearlos y describe el campo magnético.

La tercera ecuación ( 1.7) es **ley de Ampere-Maxwell** dice que *las corrientes eléctricas así como las variaciones del flujo de campo eléctrico  $\Phi_E$  generan campos magnéticos* (Resnick, 1977).

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0(\epsilon_0 \frac{d\phi_E}{dt} + i) \quad (1.7)$$

Aquí  $\mu_0$  se llama constante de permeabilidad del vacío ( $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{weber/amp} - m$ ). Con esta ecuación Ampere describe el efecto magnético de una corriente o un campo eléctrico que cambia. Después Maxwell vería experimentalmente el hecho de que la velocidad de la luz se puede calcular mediante mediciones puramente electromagnéticas.

La última ecuación ( 1.8) es la de la **ley de inducción de Faraday** que afirma que *la variación del flujo de campo magnético  $\Phi_B$  a través de una espira induce una corriente*. (Resnick, 1977)

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{d\phi_B}{dt} \quad (1.8)$$

---

<sup>5</sup>Maxwell no descubrió estas leyes por sí solo, sino que las juntó y se dio cuenta de su importancia.

Esta ecuación describe el efecto eléctrico de un campo magnético cambiante.

### 1.1.2. Relatividad

Un fenómeno físico puede ser analizado por diferentes observadores desde diferentes sistemas de referencia, sin embargo, estas observaciones no son iguales y es necesario comparar unas con otras para saber cómo varía la expresión de dicho fenómeno de sistema a sistema, de esto se ocupa la relatividad. Antes de la aparición de la Teoría Especial de la Relatividad (TER) propuesta por Albert Einstein (1879-1955) otros científicos ya habían buscado la forma de expresar un fenómeno desde diferentes sistemas de referencia y fue a partir de estos estudios que se enunció el **principio clásico de relatividad**: *Todas las leyes de la naturaleza deben ser las mismas para todos los observadores que se mueven los unos con respecto a los otros a velocidad constante* (Acosta, Cowan y Graham, 1999, p.24).

Al hablar de relatividad necesariamente hay que hablar de **sistemas de referencia**, los cuales son sistemas de coordenadas espacio-tiempo en cuyo origen se supone situado un observador con respecto al cual se determina la posición de diferentes puntos en el espacio. Los tipos de sistema de referencia son:

- *Sistemas de Referencia Inerciales*: Estos sistemas están regidos por la primera ley de Newton, es decir la ley de la inercia, por lo cual no están acelerados y se mueven a velocidad constante. Un sistema inercial ideal puede ser una nave espacial que va a la deriva por el espacio sin girar sobre su propio eje.
- *Sistemas de Referencia No Inerciales*: Este tipo de sistemas son aquellos que están acelerados con respecto a un sistema de referencia inercial.

En un sistema de referencia se ubica un *evento*, este concepto se usa para indicar algo que sucede en cierto lugar en cierto instante, por ejemplo, la emisión de una señal luminosa en un lugar y en un momento determinados. Un evento requiere cuatro coordenadas para su localización por un observador: las tres coordenadas cartesianas y el tiempo, estas son determinadas dependiendo del sistema de referencia que se escoja.

La relatividad clásica utiliza las *transformaciones* que Galileo efectuó para las coordenadas<sup>6, 7</sup>:

---

<sup>6</sup>Para profundizar más en este tema véase (Resnick, 1981, p.18).

<sup>7</sup>Antes de Einstein estas ecuaciones fueron consideradas como una cuestión de sentido común y llevaron a concluir que de acuerdo con la mecánica clásica y dichas transforma-

$$\begin{aligned}
 x' &= x - vt \\
 y' &= y \\
 z' &= z \\
 t' &= t
 \end{aligned}$$

Y para las velocidades<sup>8</sup>:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{u}'_x &= \mathbf{u}_x - \mathbf{v}_x \\
 \mathbf{u}'_y &= \mathbf{u}_y - \mathbf{v}_y \\
 \mathbf{u}'_z &= \mathbf{u}_z - \mathbf{v}_z
 \end{aligned}$$

Si estas transformaciones se diferencian con respecto a  $t$  y teniendo en cuenta que la velocidad relativa de los sistemas es constante (por lo cual el cambio de velocidad de un objeto será el mismo para los dos observadores en sus sistemas de referencia), cada uno de ellos medirá la misma aceleración para el objeto, por lo tanto:

$$a' = a \tag{1.9}$$

En relatividad clásica la masa es una cantidad absoluta que no varía con el movimiento, por lo cual el producto  $ma$  será el mismo para todos los sistemas de referencia, entonces:

$$\begin{aligned}
 ma &= ma' \\
 F &= F'
 \end{aligned}
 \tag{1.10}$$

Por consiguiente, las leyes de Newton y las ecuaciones de movimiento de un objeto son exactamente iguales en todos los sistemas de referencia inerciales y como los principios de conservación (energía, cantidad de movimiento, momento angular) son consecuencia de las leyes de Newton, se deduce entonces que las leyes de la mecánica son iguales para todos los sistemas de referencia inerciales (Resnick, 1981, p.23). Una consecuencia importante de lo anterior es que ningún experimento mecánico realizado dentro de un sistema de referencia inercial puede indicar cuál es el movimiento de dicho sistema con respecto a otro sistema de referencia inercial (Resnick, 1981), lo cual se suele llamar *Relatividad Newtoniana*.

---

ciones, las tres cantidades básicas en la mecánica, longitud, masa y tiempo son independientes del movimiento relativo de quien las mida (el observador).

<sup>8</sup>Donde  $u'_i$  es la velocidad medida en  $S'$  (sistema de referencia en movimiento),  $u_i$  la velocidad medida en  $S$  (sistema de referencia en reposo) y  $v_i$  la velocidad relativa de los sistemas.

A partir de la Relatividad Newtoniana muchos científicos se preguntaron si al igual que las leyes de la mecánica, otras leyes de la física como las del electromagnetismo también son invariantes bajo una transformación galileana, de ser así la Relatividad Newtoniana se aplicaría a toda la física como principio, sin embargo las ecuaciones de Maxwell no son invariantes bajo la transformación de Galileo, debido a esto se hicieron tres supuestos:

1. Las ecuaciones de Maxwell no son validas.
2. Existe un sistema de referencia preferido respecto al cual se puede medir cualquier movimiento.
3. Las transformaciones de Galileo no son adecuadas (Íbidem.).

Para responder muchas de las preguntas que surgieron a partir de las afirmaciones anteriores se hicieron varios intentos por encontrar el sistema de referencia preferente y por modificar la electrodinámica pero finalmente se concluyó que la solución estaba en la modificación de las ecuaciones de transformación de Galileo y fue aquí donde se dio paso a unas nuevas ecuaciones de transformación que harían invariante no solo la mecánica sino también el electromagnetismo bajo un cambio de sistema de referencia: **las transformaciones de Lorentz.**

Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928) se dio cuenta de que las ecuaciones de transformación de Galileo fallaban a la hora de describir el movimiento de objetos que se mueven a grandes velocidades o en sistemas cuya velocidad relativa sea cercana a la velocidad de la luz; por lo cual, planteó que las ecuaciones de transformación para velocidades cercanas a la velocidad de la luz debían partir de las ecuaciones de Galileo, pues a fin de cuentas gracias a estas se explicaban muchos movimientos y habían sido usadas durante siglos, pero estas además debían incluir un coeficiente de transformación que las hiciera validas tanto para velocidades bajas como para velocidades cercanas a la velocidad de la luz; entonces, según Lorentz para un sistema  $S'$  que se mueve a lo largo del eje de las equis de un sistema  $S$  las ecuaciones de transformación de coordenadas son:

$$x' = \gamma(x - vt) \quad (1.11)$$

$$y' = y \quad (1.12)$$

$$z' = z \quad (1.13)$$

$$\gamma\left(t' - \frac{x'v}{c^2}\right) = t \quad (1.14)$$

Y las ecuaciones de transformación de velocidades son<sup>9</sup>:

$$u'_x = \frac{u_x - v}{1 - \frac{u_x v}{c^2}} \quad (1.15)$$

$$u'_y = \frac{u_y}{\gamma(1 - \frac{u_x v}{c^2})} \quad (1.16)$$

$$u'_z = \frac{u_z}{\gamma(1 - \frac{u_x v}{c^2})} \quad (1.17)$$

Donde  $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$  y es conocido como coeficiente de Lorentz.

Posteriormente Albert Einstein (1879-1955) en 1905, dio a conocer su **teoría especial de la relatividad**; con esta teoría generalizó la mecánica newtoniana y la hizo un caso especial de sus planteamientos a pesar de que solo deseaba comprender mas a fondo la naturaleza del electromagnetismo. Esta teoría se ocupa de observadores que se mueven a velocidad constante unos con respecto a otros y enuncia dos postulados básicos:

1. *Las leyes de acuerdo a las cuales cambian los estados de los sistemas físicos no dependen de si estos cambios de estado se refieren a uno u otro de dos sistemas de coordenadas que se encuentran en movimiento relativo de traslación uniforme.*
2. *Cualquier rayo de luz se propaga en un sistema de coordenadas en reposo con cierta velocidad  $v$ , independientemente de si este rayo de luz ha sido emitido por un cuerpo en reposo o en movimiento (Einstein, 1905, p.891-921).*

Las ecuaciones de transformación de Lorentz trajeron consigo una serie de consecuencias bien importantes para la medición de cantidades como la longitud, que en mecánica clásica eran consideradas medidas absolutas; es posible imaginar que una barra en movimiento relativo cambie su longitud, siempre que las leyes que rijan dichas variaciones sean las mismas para todos los sistemas de referencia inerciales (Einstein e Ifeld, 1986, p.139), este cambio se conoce como **Contracción de la longitud** y fue propuesto por Lorentz y Fitzgerald; Einstein se refirió acerca de éste como una propiedad del espacio mismo (Acosta, et al., 1999) y se expresa por medio de la ecuación ( 1.18):

$$L = L_0 \sqrt{1 - v^2/c^2} \quad (1.18)$$

Donde  $L_0$  es la longitud del objeto en reposo y  $L$  la longitud del objeto en movimiento.

---

<sup>9</sup>Para profundizar más en este tema véase (Vélez, 2008, p. 61, p. 63).

### 1.1.3. Relatividad de los campos eléctrico y magnético

Considérese una partícula (electrón) con carga  $q$  como la de la figura 1.1 que se mueve paralela a un cable por el que circula una corriente continua  $i$ <sup>10</sup>, la velocidad de la partícula es la misma que la de los electrones que están circulando en la corriente, esto ocurre en un sistema  $S$  donde el cable se encuentra en reposo; si nos trasladamos a un sistema  $S'$  fijo en la partícula, es el cable quien ahora está en movimiento con respecto a la partícula. En el sistema de referencia  $S$  se observa que al cabo de un tiempo  $t$  la partícula desvía su trayectoria hacia el cable, es decir, sobre ella está actuando una fuerza; en el sistema  $S'$  seguramente, este acercamiento entre el cable y la partícula también debe observarse, por lo tanto en ambos sistemas de referencia está actuando una fuerza, dicha fuerza debe tener una magnitud en  $S$  exactamente igual a la magnitud en  $S'$ .

Para comprobar la suposición anterior, se calcula la fuerza en cada sistema de referencia.

En  $S$  la partícula lleva una velocidad y su trayectoria es desviada, por lo que se concluye que hay presente un campo magnético actuando sobre ella, esto resulta obvio debido a que se sabe que por el cable circula una corriente que induce un campo magnético que obedece a la ley de Ampere y que ejerce una fuerza sobre la partícula.

El campo magnético cerca a un cable por el que circula corriente es:

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r} \quad (1.19)$$

Como  $\mathbf{v}$  y  $\mathbf{B}$  son perpendiculares entonces  $|\mathbf{F}| = q|\mathbf{v}||\mathbf{B}|$ .

$$F = \frac{qv\mu_0 i}{2\pi r} \quad (1.20)$$

La constante de permeabilidad magnética del vacío  $\mu_0$  está relacionada con la constante de permitividad eléctrica del vacío  $\epsilon_0$  por la ecuación ( 1.21):

$$\epsilon_0\mu_0 = \frac{1}{c^2} \quad (1.21)$$

Teniendo en cuenta lo anterior y que  $i = A\rho v$ <sup>11</sup>, **la fuerza magnética** que actúa

---

<sup>10</sup>El cable es eléctricamente neutro.

<sup>11</sup>Aquí  $v$  es la velocidad de arrastre de los electrones en la corriente.

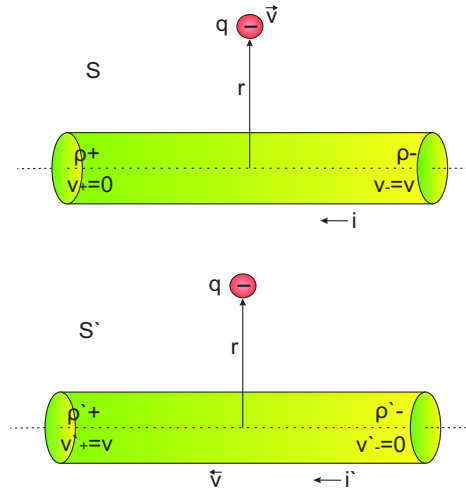


Figura 1.1: En el sistema  $S$  la carga  $q$  se mueve con respecto al alambre mientras que en el sistema  $S'$  es el alambre el que se mueve con respecto a la carga que ahora se encuentra en reposo.

sobre la partícula en el marco  $S$  estaría expresada por la ecuación ( 1.22):

$$F = \frac{q}{\epsilon_0 c^2} \frac{v^2 \rho_- A}{2\pi r} \quad (1.22)$$

Donde  $\rho$  es la densidad de carga volumétrica en el cable <sup>12</sup>,  $A$  su sección transversal y  $r$  la distancia de la partícula al cable.

En  $S'$  la partícula está en reposo y es el cable el que se mueve; como la partícula lleva la misma velocidad de las cargas negativas (electrones), éstas también se encuentran en reposo y son las cargas positivas (iones) las que ahora se encuentran en movimiento. Podríamos suponer que como son cargas en movimiento generan un campo magnético que actuaría sobre la partícula, pero en este sistema la velocidad de la partícula es cero pues se encuentra en reposo, por lo cual la fuerza magnética sería nula y no habría efecto alguno, esto resulta paradójico pues en un sistema se

<sup>12</sup>Densidad de carga negativa por ser los electrones los que se encuentran en movimiento.



vería acercar la partícula al cable y en el otro no.

En el sistema  $S$ , la fuerza que actúa sobre la partícula es simplemente la ecuación (1.22), sin embargo, si se analiza con más detalle la expresión para la fuerza en  $S'$ , donde el cable está en movimiento respecto a la partícula se concluirá que esta fuerza no es cero si se tiene en cuenta la contracción de la longitud del cable visto desde  $S'$ .

La partícula en  $S$  lleva la misma velocidad que las cargas (electrones) que se mueven en el cable generando corriente eléctrica, mientras las cargas positivas (iones) permanecen en reposo; considérese la figura 1.2 para ver que la distancia entre ion e ion es constante e igual a la distancia entre electrón y electrón;<sup>13</sup> sin embargo, en el sistema  $S'$ , la partícula y los electrones en el cable están en reposo y son ahora los iones los que están en movimiento, cabe preguntarse ¿qué ocurre con la distancia de ion a ion?, la respuesta es: se contrae. Como consecuencia de esto, el alambre aparece cargado en  $S'$ , ya que los iones están más próximos entre sí que los electrones y la densidad de carga positiva es mayor, es decir, el cable está cargado positivamente. Como la carga es invariante entonces:

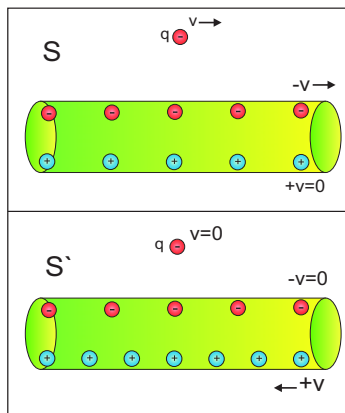


Figura 1.2: En  $S'$  la distancia entre ión e ión se contrae debido al estado de movimiento del alambre.

$$q = q' \quad (1.23)$$

<sup>13</sup>En realidad esta no es la organización interna de las partículas en el interior del cable, la figura se presenta de esta forma para simplificar el análisis.

$$\rho_0 L_0 A = \rho L A \quad (1.24)$$

$$\frac{\rho_0 L}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \rho L \quad (1.25)$$

$$\frac{\rho_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \rho \quad (1.26)$$

En  $S$  las cargas positivas están en reposo o sea que la densidad impropia de carga positiva en este sistema es:

$$\frac{\rho_+}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \rho'_+ \quad (1.27)$$

$$(1.28)$$

Por su parte en  $S'$  las cargas negativas están en reposo por lo que la densidad de carga negativa impropia es:

$$\frac{\rho'_-}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \rho_- \quad (1.29)$$

$$(1.30)$$

La densidad de carga total en  $S$  esta expresada por la ecuación ( 1.31) y en  $S'$  será dada por la ecuación ( 1.32).

$$\rho = \rho_+ + \rho_- \quad (1.31)$$

$$\rho' = \rho'_+ + \rho'_- \quad (1.32)$$

Ahora se puede expresar la densidad de carga en el sistema  $S'$  en términos de la densidad de carga positiva en el sistema  $S$ :

$$\rho' = \frac{\rho_+}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} + \rho_- \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

$$\rho' = \frac{\rho_+ + \rho_- (1 - v^2/c^2)}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

$$\rho' = \frac{[\rho_+ + \rho_-] - [\rho_- (v^2/c^2)]}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

$$\rho_- = -\rho_+$$

$$\rho' = \frac{\rho_+ - \rho_+ + \rho_+ (v^2/c^2)}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

$$\rho' = \frac{\rho_+(v^2/c^2)}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \quad (1.33)$$

Sabiendo que el campo eléctrico a una distancia  $r$  del cilindro en  $S'$  es:

$$E' = \frac{\rho' A}{2\pi\epsilon_0 r}$$

Ahora se puede calcular la fuerza eléctrica en el sistema  $S'$ .

$$\begin{aligned} F' &= qE' \\ F' &= \frac{q}{2\pi\epsilon_0} \frac{\rho_+ A}{r} \frac{v^2/c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \end{aligned} \quad (1.34)$$

Ya se tienen las expresiones de la fuerza en ambos sistemas de referencia, viéndolas con detenimiento:

$$F = \frac{q}{\epsilon_0 c^2} \frac{v^2 \rho_- A}{2\pi r} \quad F' = \frac{q}{2\pi\epsilon_0} \frac{\rho_+ A}{r} \frac{v^2/c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$

Es notorio que se puede expresar una en términos de la otra, es decir hay una correspondencia entre las fuerzas:

$$F' = \frac{F}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \quad (1.35)$$

La ecuación ( 1.35) expresa la transformación de la fuerza de un sistema de referencia a otro que se mueve con velocidad relativa respecto al primero. Nótese que la magnitud de las fuerzas es casi igual desde los dos puntos de vista para velocidades cercanas a  $c$  y para pequeñas velocidades con respecto a  $c$  es igual. Lo que en un marco de referencia parece ser un campo magnético en el otro es un campo eléctrico, esta es la relatividad de los campos eléctrico y magnético (Feynman, et al., 1977), además sabiendo que la fuerza se puede transformar de un sistema de referencia a otro las dos formas de ver el fenómeno conducen al mismo resultado físico para cualquier velocidad.

## 1.2. Marco Pedagógico

Para las **corrientes constructivistas** el conocimiento no es una copia de la realidad sino una construcción hecha por el ser humano que depende de la representación que éste le dé a la nueva información que recibe después de llevar a cabo actividades tanto interiores como exteriores. Al respecto, conviene decir que esta construcción se produce cuando el individuo interactúa con el objeto del conocimiento, interactúa con otros individuos y/o es apoyado por un docente. En este enfoque el aprendizaje es un proceso mental donde hay una reorganización interna del conocimiento y ocurre cuando hay conflicto entre lo que se sabe y lo que se debe saber. El profesor constructivista debe: impulsar iniciativa y autonomía en el alumno; usar materia primas y fuentes primarias; usar terminología cognitiva (clasificar, analizar, deducir, inferir); investigar a cerca de la comprensión y hacer preguntas correctas.

La teoría del norteamericano **David Ausubel** (1918-2008) parte de la distinción entre los procesos de aprendizaje y enseñanza de los conceptos científicos, a partir de los conceptos previamente formados por el niño en su vida cotidiana (Pozo, 1989, p.209). Ausubel afirma que el pensamiento esta organizado y jerarquizado y es a partir de estas estructuras como se presenta y asimila el mundo social, físico y matemático; en la terminología de Vygotsky se diría que Ausubel desarrolla una teoría sobre la interiorización o la asimilación, a través de la instrucción de los conceptos verdaderos, que se construyen a partir de conceptos formados o «descubiertos» por el niño en su entorno (Íbid, p.210), es decir, el alumno construye su propio aprendizaje y lo incorpora a su estructura cognitiva.

Según Ausubel un *aprendizaje es significativo* cuando puede relacionarse de un modo no arbitrario y sustancial (no al pie de la letra) con lo que el alumno ya sabe (Íbid, p.211). A partir de la definición anterior, se puede decir que el objetivo del aprendizaje significativo es la comprensión y que ésta en el aprendizaje tiene ventajas esenciales sobre la repetición como producir una retención mas duradera de la información, facilitar nuevos aprendizajes relacionados y producir cambios profundos (Íbid, p.213).

Para que se dé el aprendizaje significativo se deben cumplir las siguientes condiciones:

1. El alumno debe manifestar una actitud positiva hacia el aprendizaje significativo, debe mostrar una disposición para relacionar el material de aprendizaje con la estructura cognitiva particular que posee.
2. El material que se vaya a aprender debe ser potencialmente significativo para el

estudiante, es decir, especialmente relacionable con sus estructuras de conocimiento de modo intencional y no al pie de la letra.

3. Lo anterior depende del material que se va a aprender y de la estructura cognoscitiva del alumno en particular. En cuanto a la naturaleza del material se establece la necesidad de que posea una significatividad lógica, que no sea ni vago ni arbitrario y que se relacione intencional y sustancialmente con ideas pertinentes que se encuentren dentro del dominio de la capacidad de aprendizaje humano. En lo que respecta a la estructura cognoscitiva del estudiante se destacan las propiedades sustanciales y de organización del conocimiento del alumno en el campo particular de estudio, además del nivel de desarrollo de su desempeño cognoscitivo, de tal manera que pueda realizar la tarea de aprendizaje con economía, tiempo y esfuerzo (Pérez, Gallego, 1994, p.18).

En función de la naturaleza del conocimiento adquirido Ausubel describe tres tipos de aprendizaje significativo:

- *El de representaciones:* De el dependen todos los demás y consiste en el aprendizaje de símbolos y/o de lo que estos representan.
- *El de proposiciones:* Consiste en hacerse al significado de nuevas ideas expresadas en forma de proposiciones.
- *El de conceptos:* Según el cual estos se representan con palabras o nombres, por consiguiente el aprendizaje de conceptos como el de proposiciones posee una misma base y son dependientes de aprendizajes significativos de representaciones (Íbid, p.17 y 18).

Los niños mayores, los adolescentes y los adultos realizan un aprendizaje principalmente por **asimilación conceptual**, que es el proceso fundamental de la adquisición de significados y según Ausubel sería la forma predominante de adquirir conceptos a partir de la edad escolar y muy especialmente en la adolescencia y la edad adulta (Pozo, 1989, 217). Este principio de asimilación se refiere a la interacción entre el nuevo material que será aprendido y la estructura cognitiva existente que origina una reorganización de los nuevos y antiguos significados para formar una estructura cognoscitiva diferenciada, esta interacción de la información nueva con las ideas pertinentes que existen en la estructura cognitiva propician su asimilación, en otras palabras, las ideas previas se modifican adquiriendo nuevos significados.

Dos ideas claves en el principio de asimilación son la **diferenciación progresiva** y la **reconciliación integradora**, en la unión no arbitraria de los nuevos conceptos a

una estructura cognitiva personal (representada por ejemplo en un mapa conceptual) tiene lugar la diferenciación progresiva; la reconciliación integradora sucede cuando se establecen nuevas relaciones entre dos conjuntos de conceptos. En función del tipo de relación jerárquica entre las ideas ya existentes y las nuevas ideas Ausubel distingue tres formas de aprendizaje por asimilación:

- *Subordinado*: Cuando en la estructura cognitiva existen conceptos inclusores que permitan subordinar el aprendizaje a ellos.
- *Supraordinado*: Se presenta cuando el concepto nuevo es más abstracto e inclusivo que los conceptos previos y logra por tanto subordinarlos.
- *Combinatorio*: Este tipo de aprendizaje se caracteriza por que la nueva información no se relaciona de manera subordinada, ni supraordinada con la estructura cognoscitiva previa, sino se relaciona de manera general con aspectos relevantes de la estructura cognoscitiva.

# Capítulo 2

## Metodología

### 2.1. Tipo de investigación

**Investigación Proyectiva:** La investigación proyectiva se ocupa de cómo deberían ser las cosas, para alcanzar unos fines y funcionar adecuadamente (Hurtado, 1998, p.325). Este tipo de investigación es el adoptado en este trabajo de grado, pues se pretende elaborar una propuesta para solucionar un problema partiendo de un diagnóstico de las necesidades del momento; además se estudian los eventos en su contexto, hay un interés en los procesos evolutivos y en las relaciones dinámicas entre los eventos, se toma en cuenta a todos los actores del proceso y hay una actitud activa hacia el futuro, características éstas, que son propias de este tipo de investigación; sus fases así como las actividades a realizar en cada una se presentan en la tabla 2.1.

### 2.2. Diseño de investigación

Diseño de investigación longitudinal panel: en este diseño se recolectan datos sobre eventos en dos o mas momentos para evaluar el cambio en éstos, tomando siempre las mismas unidades de estudio. El diseño se presenta en la figura 2.1.

#### 2.2.1. Definición de evento (variable).

##### Aprendizaje

El evento de estudio de la investigación es el aprendizaje, pues de este se parte para desarrollar la herramienta de enseñanza/aprendizaje que es el objetivo general de este trabajo.

FASE	ACTIVIDAD
Exploratoria	Determinar enunciado holopráxico (Problema).
Descriptiva	Desarrollar la justificación y plantear los objetivos.
Comparativa Analítica Explicativa	Desarrollar el sintagma gnoseológico (marco teórico).
Predictiva	Revisar la factibilidad de la investigación.
Proyectiva	Precisar los lineamientos metodológicos.
Interactiva	Definición del evento a modificar. Seleccionar el diseño de la investigación. Describir y seleccionar las unidades de estudio. Seleccionar las técnicas y construir los instrumentos de recolección de datos. Recoger los datos.
Confirmatoria	Analizar, integrar y presentar los resultados.
Evaluativa	Evaluar el proceso.

Tabla 2.1: Fases de la investigación.

- *Definición conceptual:* Se denomina aprendizaje al proceso de adquisición de conocimientos, habilidades, valores y actitudes, posibilitado mediante el estudio, la enseñanza o la experiencia<sup>1</sup>.
- *Definición operacional:* El aprendizaje que se considerará en este trabajo es el aprendizaje significativo cuyas manifestaciones a medir serán la adquisición de conocimientos y la comprensión por parte de los estudiantes partiendo de los indicios que ofrecen la observación y la aplicación de pruebas de conocimiento, el parámetro a medir será la presencia-ausencia de las manifestaciones.

### 2.2.2. Definición unidades de estudio

- **Universo:** Estudiantes Universidad Pedagógica Nacional.
- **Población:** Estudiantes licenciatura en física (conocida<sup>2</sup>).
- **Muestra:** Estudiantes licenciatura en física que se no han cursado la asignatura *Relatividad* correspondiente al quinto semestre del proyecto curricular de la licenciatura y ya tomaron el curso de Electromagnetismo I.

<sup>1</sup>*Definición de aprendizaje.* Obtenida el 12 de marzo de 2012 de <http://www.definicion.de>

<sup>2</sup>Población conocida: Población cuyos integrantes son conocidos y pueden ser identificados y listados en su totalidad.





Figura 2.1: Metodología de Investigación.

- **Muestra referencial:** Estudiantes licenciatura en física que están cursando la asignatura *Programación De Computadores I* correspondiente al cuarto semestre del proyecto curricular de la licenciatura.<sup>3</sup>

- **Número de unidades:** 15

		UNIDADES
▪ <b>Semestre:</b>	Cuarto	12
	Quinto	2
	Sexto	1

- **Tamaño de la muestra:** 20 %

### 2.2.3. Selección instrumentos de recolección de datos

Para la toma de datos se tendrán en cuenta las técnicas e instrumentos que aparecen en la tabla 2.2.

<sup>3</sup>El criterio de inclusión de la muestra referencial fue el hecho de que estos estudiantes no han tomado el curso de Relatividad pero si tomaron el curso de Electromagnetismo I necesario para poder llevar a cabo diferentes actividades.

TÉCNICA	INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	INSTRUMENTO DE REGISTRO
Observación: Sesión en profundidad	Guía de observación	Papel y lápiz, cámara de video.
Entrevista	Guía de entrevista	Papel y lápiz, cámara de video.
Encuesta	Prueba de conocimiento	Papel y lápiz.

Tabla 2.2: Técnicas e instrumentos para la toma de datos.

#### 2.2.4. Descripción procedimiento de recolección de datos

**Técnica Uno:** Observación -Sesiones en profundidad.

Se llevará a cabo una observación inestructurada donde se hará un registro anecdótico de aspectos específicos de interés para el observador, quien a su vez será participante artificial, pues pasa a ser parte de la situación observada y se integra al grupo con el objeto de realizar la investigación. El aspecto a observar será la presencia-ausencia de aprendizaje en los alumnos.

- **Título de la clase:** Relatividad de los campos eléctrico y magnético.
- **Propósito de la clase:** Comprender la correspondencia entre el campo eléctrico y el campo magnético haciendo un análisis desde la relatividad.
- **Semestre:** Cuarto semestre de licenciatura en física.
- **Número de estudiantes:** 15.
- **Planeación:** La planeación se muestra en la tabla 2.3.

<b>Sesión Preliminar:</b>	<b>Prueba diagnóstico.</b>
<b>Tiempo:</b>	30 minutos.
<b>Actividad:</b>	Aplicación Prueba Diagnóstico.
<b>Primera Sesión:</b>	<b>Repaso Electromagnetismo.</b>
<b>Objetivo docente:</b>	Enunciar y reforzar algunos conceptos de electromagnetismo que el estudiante debe saber para abordar las temáticas de las sesiones posteriores.
<b>Objetivos para el estudiante:</b>	Recordar conceptos básicos de electromagnetismo vistos en cursos anteriores.

	Identificar y analizar las leyes de Maxwell para la resolución de futuros problemas.
<b>Tiempo:</b>	Dos horas.
<b>¿Qué se espera del estudiante?:</b>	Al finalizar las sesión se espera que el estudiante sea capaz de definir y describir los conceptos vistos.
<b>Material didáctico:</b>	Sitio web-pestaña <i>repaso electromagnetismo</i> - guía uno.
<b>Actividad:</b>	<p><i>Primer momento (1 hora):</i> El docente menciona los objetivos para el estudiante, luego se presentan al estudiante los conceptos de electromagnetismo que se van a trabajar en una clase basada en el modelo de exposición.</p> <p><i>Segundo momento (30 minutos):</i> El estudiante ingresa al sitio web para tener acceso a la guía donde se refuerza lo visto en clase, así mismo observa cuatro videos que ilustran en qué consisten las leyes de Maxwell e inicia la elaboración de los ejercicios de la guía.</p> <p><i>Tercer momento (30 minutos):</i> Espacio para preguntas, aportes conclusiones y recomendaciones.</p>
<b>Evaluación:</b>	El estudiante después de las intervenciones desarrolladas por el docente y de la visualización de los videos debe estar en capacidad de demostrar sus conocimientos en el tema a través del desarrollo de las actividades propuestas en la guía, lo cual va a ser utilizado por el docente como la herramienta de evaluación de la sesión, en la que se evidenciaran los conocimientos adquiridos por el alumno.
<b>Segunda Sesión:</b>	<b>Relatividad Clásica.</b>
<b>Objetivo docente:</b>	Explicar qué es y en qué consiste la relatividad clásica.
<b>Objetivos para el estudiante:</b>	Comprender el concepto sistema de referencia. Conocer las transformaciones de Galileo. Entender la relatividad Newtoniana.
<b>Tiempo:</b>	Una hora.
<b>¿Qué se espera del estudiante?:</b>	Al finalizar las sesión se espera que el estudiante defina qué es un sistema de referencia y argumente la utilidad de las transformaciones de Galileo.
<b>Material didáctico:</b>	Sitio web-pestaña <i>relatividad clásica</i> - guía dos.
<b>Actividad:</b>	<i>Primer momento (40 minutos):</i> El docente menciona los objetivos para el estudiante, luego se presentan al estudiante los conceptos de relatividad clásica en una clase basada en el modelo de exposición.

	<i>Segundo momento (20 minutos):</i> El estudiante ingresa al sitio web para tener acceso a la guía donde se refuerza lo visto en clase, inicia la solución de los ejercicios de la guía y formula preguntas.
<b>Evaluación:</b>	El estudiante después de las intervenciones desarrolladas por el docente debe estar en la capacidad de argumentar sus conocimientos en el tema a través de la elaboración de un escrito con su definición de sistema de referencia y la que él considera la utilidad de las transformaciones de Galileo, lo cual va a ser utilizado por el docente como la herramienta de evaluación de la sesión, en la que se evidenciaran los conocimientos adquiridos por el alumno.
<b>Tercera Sesión:</b>	<b>Coefficiente de Lorentz.</b>
<b>Objetivo docente:</b>	Explicar a los estudiantes qué es y cual es la utilidad del coeficiente de Lorentz.
<b>Objetivos para el estudiante:</b>	Conocer las transformaciones de Lorentz para las coordenadas de un sistema. Reconocer la importancia del coeficiente de Lorentz para el análisis de fenómenos que ocurren en sistemas de referencia que se mueven a grandes velocidades.
<b>Tiempo:</b>	Una hora.
<b>¿Qué se espera del estudiante?:</b>	Al finalizar las sesión se espera que el estudiante defina que es el coeficiente de Lorentz y argumente su utilidad.
<b>Material didáctico:</b>	Sitio web-pestaña <i>el coeficiente de Lorentz</i> - guía tres.
<b>Actividad:</b>	<i>Primer momento (40 minutos):</i> El docente menciona los objetivos para el estudiante, luego se presenta al estudiante el concepto de coeficiente de Lorentz y su utilidad en una clase basada en el modelo de exposición.  <i>Segundo momento (20 minutos):</i> El estudiante ingresa al sitio web para tener acceso a la guía donde se refuerza lo visto en clase y observa un video referente a las transformaciones de Lorentz, inicia la solución de los ejercicios de la guía y formula preguntas.
<b>Evaluación:</b>	El estudiante después de las intervenciones desarrolladas por el docente debe estar en capacidad de demostrar sus conocimientos en el tema a través del desarrollo de las actividades propuestas en la guía, lo cual va a ser utilizado por el docente como la herramienta de evaluación de la sesión, en la que se evidenciaran los conocimientos

	adquiridos por el alumno.
<b>Cuarta Sesión:</b>	<b>Relatividad Especial y Electromagnetismo I.</b>
<b>Objetivo docente:</b>	<p>Presentar a los estudiantes los postulados de la T.E.R.</p> <p>Plantear una situación problema cuya solución clásica lleva al estudiante a una contradicción.</p> <p>Explicar a los estudiantes la idea de contracción de la longitud.</p>
<b>Objetivos para el estudiante:</b>	<p>Describir los postulados de la T.E.R.</p> <p>Analizar la fuerza que actúa sobre una partícula cargada que se mueve con respecto a un cable en el que hay una corriente continua desde el punto de vista clásico.</p> <p>Conocer el concepto contracción de la longitud y su influencia en la densidad de carga de un objeto cargado en movimiento.</p>
<b>Tiempo:</b>	Dos horas.
<b>¿Qué se espera del estudiante?:</b>	Al finalizar las sesión se espera que el estudiante entre en una contradicción por los resultados del cálculo clásico del ejercicio y describa en que consiste la contracción de la longitud.
<b>Material didáctico:</b>	Sitio web-pestaña <i>relatividad y electromagnetismo</i> - guía cuatro.
<b>Actividad:</b>	<p><i>Primer momento (25 minutos):</i> Se aplica la prueba intermedia a los estudiantes.</p> <p><i>Segundo momento (1 hora):</i> El docente menciona los objetivos para el estudiante, luego se presentan al estudiante los postulados de la T.E.R y una situación que evidencia la correspondencia entre campos eléctricos y magnéticos así como el concepto de contracción de la longitud en una clase basada en el modelo de exposición.</p> <p><i>Tercer momento (35 minutos):</i> El estudiante ingresa al sitio web para tener acceso a la guía donde se refuerza lo visto en clase y observa un video referente a la aparición de la relatividad de Einstein, inicia con el desarrollo de los ejercicios y formula preguntas.</p>
<b>Evaluación:</b>	El estudiante después de las intervenciones desarrolladas por el docente debe estar en capacidad de demostrar sus conocimientos en el tema a través del desarrollo de las actividades propuestas en la guía, lo cual va a ser utilizado por el docente como la herramienta de evaluación de la sesión, en la que se evidenciaran los conocimientos adquiridos por el alumno.
<b>Quinta Sesión:</b>	<b>Relatividad Especial y Electromagnetismo II.</b>

<b>Objetivo docente:</b>	Evidenciar a los estudiantes la importancia de la contracción de la longitud en el análisis del ejercicio de la sesión anterior.
<b>Objetivos para el estudiante:</b>	Comprender la invariancia de la carga bajo un cambio de sistema de referencia. Analizar la fuerza que actúa sobre una partícula cargada que se mueve con respecto a un cable en el que hay una corriente continua desde el punto de vista relativista. Identificar la transformación de fuerzas de un sistema de referencia a otro.
<b>Tiempo:</b>	Dos horas.
<b>¿Qué se espera del estudiante?:</b>	Al finalizar la sesión se espera que el estudiante resalte la importancia de la contracción de la longitud en el análisis de la situación de la sesión cuatro e identifique la correspondencia entre el campo eléctrico y el campo magnético.
<b>Material didáctico:</b>	Sitio web-pestaña <i>relatividad</i> y <i>electromagnetismo</i> - guía cinco, simulación, animación, ejemplo: tubo de rayos catódicos.
<b>Actividad:</b>	<i>Primer momento (1 hora):</i> El docente menciona los objetivos para el estudiante, luego se presenta al estudiante la solución a la situación planteada desde la relatividad en una clase basada en el método de exposición. <i>Segundo momento (10 minutos):</i> El estudiante ingresa al sitio web y visualiza una animación que explica la situación que se está trabajando. <i>Tercer momento (15 minutos):</i> El estudiante en el sitio web lleva a cabo la simulación de dicha situación con la supervisión del docente que lo instruye en los parámetros de uso de ésta. <i>Cuarto momento (20 minutos):</i> El estudiante observa un ejemplo del evento trabajado por medio de videos, animación y un texto en el sitio web, con la supervisión del docente. <i>Quinto momento (15 minutos):</i> El estudiante ingresa a la guía donde se refuerza lo visto en clase, inicia con el desarrollo de los ejercicios y formula preguntas.
<b>Evaluación:</b>	El estudiante después de las intervenciones desarrolladas por el docente y de trabajar con la animación y la simulación debe estar en la capacidad de demostrar sus conocimientos en el tema a través

	del desarrollo de las actividades propuestas en la guía, lo cual va a ser utilizado por el docente como la herramienta de evaluación de la sesión, en la que se evidenciaran los conocimientos adquiridos por el alumno.
<b>Sexta sesión:</b>	<b>Visita al laboratorio y prueba final.</b>
<b>Objetivo docente:</b>	Mostrar a los estudiantes una aplicación práctica del ejemplo trabajado en las sesiones cuatro y cinco por medio del tubo de rayos catódicos en el laboratorio..
<b>Objetivos para el estudiante:</b>	Observar la desviación de un haz de electrones causada por la presencia de un campo magnético inducido por una corriente. Comparar la observación en el laboratorio con la situación trabajada en clase.
<b>Tiempo:</b>	Una hora.
<b>¿Qué se espera del estudiante?:</b>	Al finalizar la sesión se espera que el estudiante mencione la utilidad práctica de los temas abordados en las sesiones anteriores, mencione los sistemas de referencia que identifica y caracterice la fuerza que actúa sobre el haz desde dichos sistemas de referencia .
<b>Material didáctico:</b>	Aparato relación carga-masa, tubo de rayos catódicos.
<b>Actividad:</b>	<i>Primer momento (30 minutos):</i> Se aplica la prueba final a los estudiantes. <i>Segundo momento (25 minutos):</i> El docente menciona los objetivos para el estudiante, luego por grupos los estudiantes visitan el laboratorio y observan el funcionamiento del tubo de rayos catódicos y como el haz de electrones es desviado por la corriente en un cable, así mismo responden preguntas formuladas por el docente de forma verbal. <i>Tercer momento (5 minutos):</i> Se finaliza la actividad mencionando las conclusiones y agradeciendo al grupo por su participación.
<b>Evaluación:</b>	Sin evaluación.

Tabla 2.3: Planeación sesiones de clase.

**Técnica Dos:** Entrevista.

Esta técnica no será usada con un sujeto específico sino a nivel grupal. Será una entrevista inestructurada focalizada, es decir se elabora previamente una lista de temas sobre los que se centra el interrogatorio y durante las sesiones de clase se formularan dichas preguntas de manera libre, donde los estudiantes intervienen con

sus respuestas en forma organizada. El objetivo de esta técnica es llevar al estudiante a alcanzar los objetivos que se le han propuesto. Las preguntas a formular aparecen en la tabla. 2.4

<b>Primera sesión</b>	<p><i>Pregunta 1:</i> ¿Cómo se evidencia la interacción entre dos cuerpos cargados?</p> <p><i>Pregunta 2:</i> ¿La carga de un objeto que varía su temperatura varía con este cambio?</p> <p><i>Pregunta 3:</i> ¿Una partícula cargada afecta el medio que la rodea?</p> <p><i>Pregunta 4:</i> ¿Por qué los imanes son magnéticos?</p>
<b>Segunda sesión</b>	<p><i>Pregunta 1:</i> Mencione ejemplos de sistemas de referencia inerciales.</p> <p><i>Pregunta 2:</i> ¿Cuántas coordenadas requiere un evento?</p> <p><i>Pregunta 3:</i> ¿Cuál es la utilidad de las transformaciones de Galileo?</p> <p><i>Pregunta 4:</i> ¿Las leyes de Newton cambian con el sistema de referencia?</p> <p><i>Pregunta 5:</i> ¿Puedo hablar de mi movimiento absoluto? ¿por qué?</p>
<b>Tercera sesión</b>	<p><i>Pregunta 1:</i> ¿Por qué Lorentz planteó sus ecuaciones de transformación?</p> <p><i>Pregunta 2:</i> ¿En qué fallan las ecuaciones de transformación de Galileo?</p>
<b>Cuarta sesión</b>	<p><i>Pregunta 1:</i> ¿Cuáles son los postulados de la T.E.R?</p> <p><i>Pregunta 2:</i> ¿Qué sistemas de referencia identifica en la situación planteada?</p> <p><i>Pregunta 3:</i> ¿La fuerza que actúa sobre la partícula será igual para los dos sistemas de referencia? ¿Por qué?</p> <p><i>Pregunta 4:</i> ¿Cómo explica que en un sistema la fuerza sea nula y en el otro no?</p> <p><i>Pregunta 5:</i> ¿La longitud de un objeto en movimiento se mantiene constante?</p>
<b>Quinta sesión</b>	<p><i>Pregunta 1:</i> ¿La carga de un objeto en movimiento varía por su estado de movimiento?</p> <p><i>Pregunta 2:</i> Si la carga no varía con el movimiento ¿eso quiere decir que la densidad de carga se mantiene constante? ¿Por qué?</p> <p><i>Pregunta 3:</i> ¿Por qué aparece el cable cargado en el sistema S'?</p> <p><i>Pregunta 4:</i> ¿La fuerza que actúa sobre la partícula será igual para los dos sistemas de referencia? ¿Por qué?</p>
<b>Sexta sesión</b>	<p><i>Pregunta 1:</i> ¿Qué sistemas de referencia se pueden usar para analizar la fuerza sobre el haz de electrones?</p>



<p><i>Pregunta 2:</i> ¿Por qué la trayectoria del haz es desviada?</p> <p><i>Pregunta 3:</i> ¿La fuerza sobre uno de los electrones en el haz ejercida por el cable será igual que la fuerza sobre el cable ejercida por uno de los electrones?</p>
---

Tabla 2.4: Preguntas relevantes formuladas durante las sesiones de clase.

### **Técnica Tres:** Encuesta.

Para llevar a cabo esta técnica el instrumento de recolección de datos serán pruebas de conocimiento. Se hará una prueba diagnóstico, una prueba intermedia y una prueba final; es preciso resaltar que la prueba aplicada en cada momento es diferente, sin embargo, los estudiantes deben tener en cuenta los conocimientos que se evaluaron en la prueba anterior para desarrollar la prueba que están presentando. Las características de cada prueba aparecen en la tabla 2.5<sup>4</sup>.

	<b>Prueba diagnóstico</b>	<b>Prueba intermedia</b>	<b>Prueba final</b>
<b>Número de preguntas</b>	15	12	18
<b>Tipo de preguntas</b>	Cerradas (selección múltiple).	Correspondencia, Cerradas (selección múltiple).	Cerradas (selección múltiple).
<b>Objetivo</b>	Hacer un diagnóstico de los conocimientos previos del alumno.	Hacer seguimiento del proceso de aprendizaje de conceptos de electromagnetismo.	Observar si hubo un aprendizaje durante todo el proceso.
<b>Contenido</b>	Electromagnetismo-Relatividad especial.	Electromagnetismo.	Relatividad especial.

Tabla 2.5: Características de las pruebas aplicadas a los estudiantes.

### **2.2.5. Selección de las técnicas de análisis**

La técnica de análisis que se utilizará será el análisis de contenido, pues se van a abordar los eventos de estudio con el interés de profundizar en su comprensión; en este tipo de análisis es más importante el estudio de las ideas que de las palabras.

<sup>4</sup>Ir al Apéndice C para observar el formato de cada prueba.

# Capítulo 3

## Descripción de la Herramienta

Sin duda alguna el computador se ha convertido en uno de los instrumentos de enseñanza/aprendizaje más usados en la actualidad, por lo cual los docentes han empezado a verlo como una herramienta de trabajo más que como un instrumento de entretenimiento. Una de las opciones para la educación derivadas del uso del computador es el uso de internet como medio para la enseñanza; opción que trae considerables ventajas como el rápido acceso a las fuentes de información, el navegar por estas fuentes, el aumento en la motivación del estudiante, la enseñanza a distancia, entre otras; partiendo de la anterior, la herramienta que se propone en este trabajo de grado es el sitio web <http://relecforce.webnode.com.co><sup>1</sup>, cuya estructura se muestra en la figura 3.1.

### 3.1. Descripción de la estructura del sitio web.

**Header:** Título y/o encabezado del sitio web. El título es *Relación entre Relatividad y Electromagnetismo*, que le sugiere al estudiante la temática que se trata en el sitio; además del título, el header incluye una frase de Albert Einstein y una imagen alusiva a la relatividad que cumplen con la función de invitar a explorar el sitio.

**Menu-Secciones:** El sitio cuenta con ocho secciones o páginas web dedicadas a presentar las temáticas de cada una de las sesiones de clase; a conectar al alumno con diferentes sitios donde puede tener acceso a gran cantidad de información referente a la temática del sitio web y a ofrecer asesoría y apoyo por parte del docente frente a las dudas del alumno.

---

<sup>1</sup>El nombre de dominio le corresponde al sitio webnode ([www.webnode.com](http://www.webnode.com)). Ir al Apéndice A para observar el marco legal que rige a este trabajo de grado.

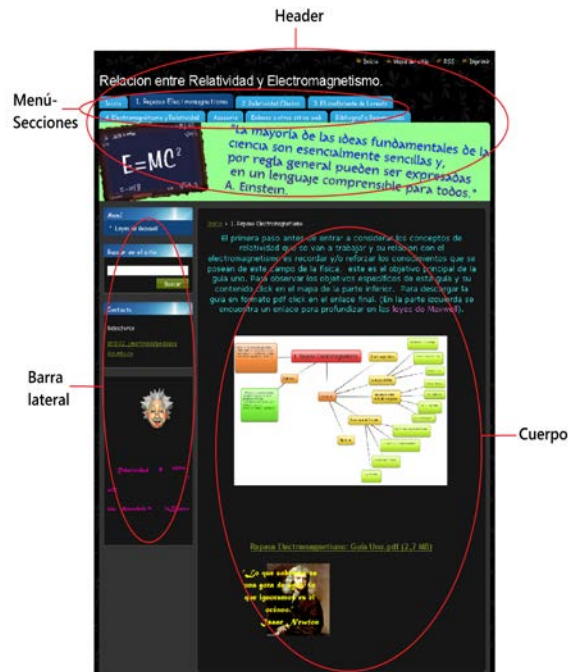


Figura 3.1: Estructura del sitio web.

**Cuerpo:** El cuerpo es el contenido de cada página del menu donde se encuentran diferentes tipos de multimedia.

**Barra Lateral:** En esta parte se puede observar el registro o contacto para dudas o sugerencias, la herramienta de búsqueda en el sitio y un banner alusivo al contenido del sitio.

En la enseñanza de la física hay diferentes métodos de utilización del computador como la adquisición de datos, la modelación, la simulación, el multimedia e internet; el sitio web descrito aquí junta los métodos mencionados, dándole al multimedia el papel principal.

## 3.2. Descripción del contenido

Básicamente el sitio web está compuesto por ocho páginas y seis subpáginas cuyo contenido es el siguiente:

**Página Inicio:** En esta página se encuentra la presentación del sitio web y un breve resumen de su contenido y el multimedia que utiliza.

**Páginas secundarias:** Cuatro de estas páginas están dedicadas a las sesiones de clase llevadas a cabo con los alumnos, el título de cada una corresponde al título de cada guía de trabajo; su contenido es un breve resumen textual de la temática que se abordará en la clase correspondiente, acompañado de una imagen alusiva; un diagrama jerárquico que resume el contenido de cada guía y el enlace para descargarla en formato pdf.

La **página asesoría** ofrece un espacio para que los alumnos expongan sus dudas referentes a los temas expuestos en clase, así mismo, sus aportes. El docente puede resolver dichas dudas por este medio o tomarlas en cuenta desde aquí para resolverlas en clase de ser necesario.

La **página enlaces a otros sitios web** muestra una lista de sitios web relacionados con el tema donde el estudiante puede ampliar la información que se le proporcionó en clase navegando y accediendo a artículos, videos, imágenes, simulaciones y juegos.

La **página bibliografía recomendada** le ofrece al estudiante la posibilidad de acudir a una lista de textos en los cuales puede profundizar y/o reforzar los temas que se trabajan en el sitio.

En las **subpáginas** el estudiante puede encontrar la simulación, las animaciones, contenido referente al tubo de rayos catódicos, galería de fotos en el laboratorio y videos.

A continuación se describen algunas estrategias de enseñanza utilizadas en la estructura de las páginas:

**Resumen:** Al inicio de cada página dedicada a las sesiones de clase se encuentra un resumen textual de la temática que se abordará, el cual tiene la función de dar una panorámica del contenido de las guías y ubicar al alumno dentro de la estructura general del material que habrá de aprender.

**Ilustraciones:** Su función es mantener la atención de los alumnos describiendo virtualmente la temática que aprenderá.

Otras estrategias se mencionarán posteriormente puesto que hacen parte de las guías de trabajo, sin embargo, conviene mencionar que teniendo en cuenta el proceso de exploración que el estudiante seguramente seguirá en el sitio web, hay una estrate-

gia de enseñanza global para la solución de problemas y abstracción de contenidos conceptuales, donde el alumno construye el conocimiento a partir del planteamiento de la situación problema (la fuerza toma valores diferentes en cada sistema de referencia teniendo en cuenta la solución clásica), que lo lleva a analizar y razonar dividiendo el problema en partes (solución clásica y solución relativista) para elegir la solución apropiada; luego, se pretende la permanencia de los conocimientos con cuestionarios y ejercicios y se busca una transferencia de los mismos por la formación de una «comunidad» en el ambiente virtual que ofrece información (guías, videos, bibliografía), comunicación (asesoría, contacto), sitios de interés y ambientes de aprendizaje.

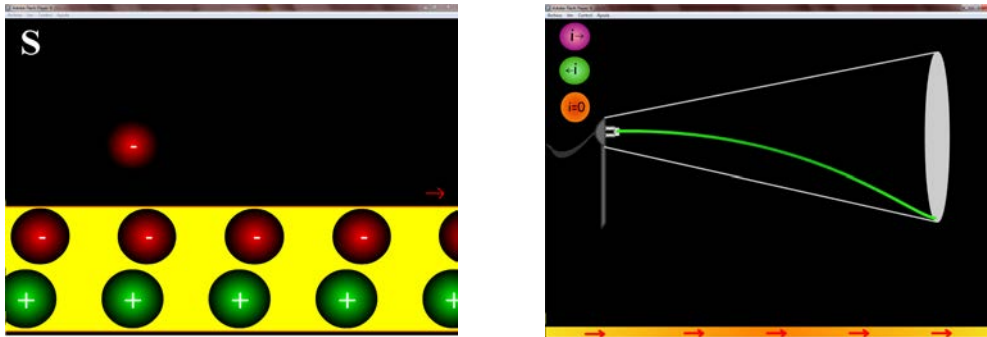
### 3.3. Multimedia

El término multimedia se refiere a cualquier objeto o sistema que se vale de diversos medios de expresión para comunicar o presentar información; cuando se habla de multimedia interactiva se hace referencia al libre control sobre la presentación de los contenidos por parte del usuario, además cuando los materiales multimedia tienen un fin educativo se habla de multimedia educativo; al llegar a este punto se puede decir que el multimedia que maneja el sitio web es interactivo-educativo; la mayor cualidad de este componente es la interactividad ya que atrae y motiva al estudiante, por ser una herramienta multisensorial, propiciando un aprendizaje significativo en menos tiempo e incentivando el trabajo autónomo y extraclase, proporcionándole al estudiante entornos para procesar información, comunicarse, elaborar conocimientos y crear.

#### 3.3.1. Descripción tipos de multimedia utilizados en el sitio web

**Animaciones:** El sitio cuenta con dos animaciones; la primera (figura 3.2 a.) tiene una función instructiva ya que muestra en qué consiste el ejemplo trabajado en clase, dándole la posibilidad al alumno de recrear ideas que son abstractas y que dificultan la comprensión del ejemplo si no hay un medio para visualizarlas. Para usarla basta con que el alumno de click en el botón reproducir y a continuación observe una secuencia de imágenes y texto que relata el paso a paso del análisis y deducción de la fuerza que actúa sobre una partícula que se mueve con respecto a un cable con corriente continua, visto tanto desde el sistema de referencia cable como desde

el sistema de referencia partícula; concluyendo con una frase de Albert Einstein que transmite la idea de la correspondencia de los campos eléctrico y magnético. La segunda animación (figura 3.2 b.) tiene una función informativa, ya que muestra como un haz de electrones en un tubo de rayos catódicos es afectado por una corriente; aparecen tres botones: sentido de la corriente hacia la derecha (morado), sentido de la corriente hacia la izquierda (verde) y corriente nula (naranja); cuando se da click en cualquiera de estos botones aparece el haz de electrones y empieza a desviar su trayectoria de acuerdo al sentido escogido o simplemente permanece quieto cuando la corriente es nula.



a. Animación ejercicio.

b. Animación tubo de rayos catódicos.

Figura 3.2: Animaciones en el sitio web.

**Simulación:** La simulación (figura 3.3) tiene las funciones de entretener, motivar, instruir y facilitar la toma de datos; con ella el alumno puede parametrizar el ejemplo trabajado en clase dándole valores a variables como la carga, la densidad de carga, la distancia entre la partícula y el cable, el area transversal del cable y la velocidad de la partícula (se le indica al alumno que el valor de la velocidad debe ser menor a la velocidad de la luz, de no ser así, aparece un mensaje de error); dependiendo de la magnitud de la velocidad que se ingrese se observa que el movimiento de la partícula es «rápido» o «lento»; después de ingresar estos valores el alumno puede dar click en cualquiera de los botones  $F$  (azul) o  $F'$  (verde) y podrá observar la magnitud de la fuerza que está actuando sobre la partícula, además puede verificar que visto desde cualquier sistema de referencia este valor es invariante; puede observar cómo dependiendo del signo de la carga o de la dirección de la velocidad la fuerza es de repulsión o de atracción, desviando a la partícula de su trayectoria inicial.

**Gráficos:** En el sitio web, en cada página dedicada a las sesiones de clase se muestra un gráfico que tiene una función informativa. Este gráfico es un diagrama jerárquico



**Imágenes:** En el sitio web hay imágenes y fotografías que contextualizan al estudiante en la temática trabajada en clase.

**Banners:** El sitio cuenta con dos banners, uno ubicado en la barra lateral que invita a los estudiantes a explorar la página y otro ubicado en la parte inferior (figura 3.5) que los invita a explorar otros sitios web solo con un click sobre la imagen del físico sobre el que deseen ampliar la información.

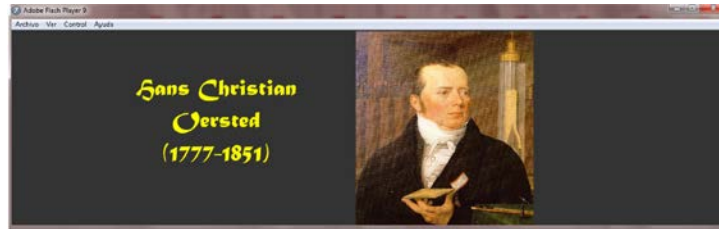


Figura 3.5: Banner parte inferior sitio web.

**Guías de Trabajo:** Las guías de trabajo tienen las funciones informativa, instructiva y evaluadora. Los estudiantes las utilizan como información para profundizar lo visto en clase. Su estructura se observa en la figura 3.6. A continuación se describen las estrategias de enseñanza tomadas en cuenta para su diseño:

**Objetivos:** Esta estrategia de tipo pre-instruccional busca activar los conocimientos previos de los estudiantes, orientándolos en el proceso de aprendizaje sobre qué y como van a aprender y permitiendo generar expectativas y criterios sobre lo que se espera de ellos. Esta estrategia se tuvo en cuenta partiendo de que el aprendizaje es más exitoso cuando el aprendiz es consciente de su objetivo. Los objetivos se encuentran al inicio de cada guía, siguientes al título (que sugiere al estudiante la temática de cada guía) y enmarcados para llamar la atención del estudiante.

**Organizadores Previos:** Es el texto introductorio compuesto por un conjunto de conceptos y proposiciones referentes a las temáticas que los alumnos deben aprender; son de ambos tipos de organizadores previos: comparativos y expositivos, ya que en algunas guías se supone que el alumno conoce una serie de ideas parecidas



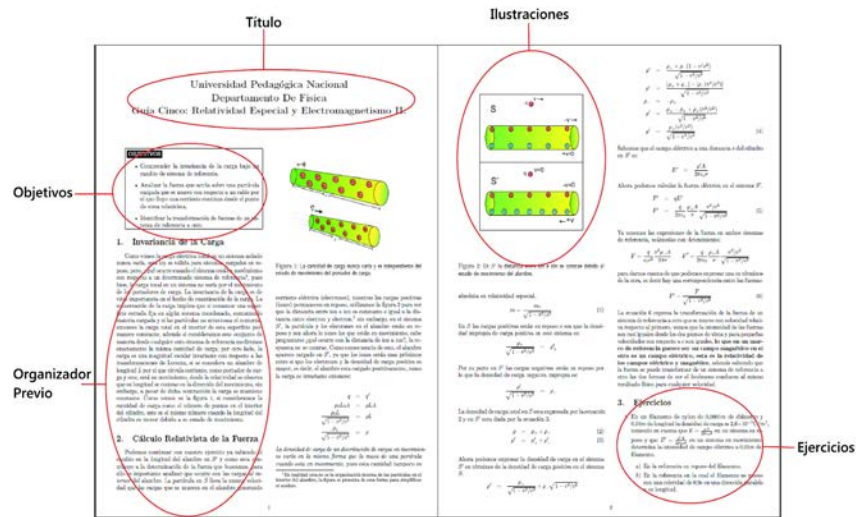


Figura 3.6: Estructura y estrategias de enseñanza de las guías de trabajo.

a las que se pretende transmitir y en otras se supone que la información es desconocida para los aprendices. Con esta estrategia se pretende proporcionar al alumno un «puente» entre la información que ya posee con la información que va a aprender, ayudarlo a organizar la nueva información y ofrecerle el marco conceptual donde ésta se ubica, evitando la memorización aislada e inconexa.

**Ilustraciones:** Las guías incluyen una serie de ilustraciones cuyas funciones son dirigir y mantener la retención de los alumnos; permitir la explicación en términos visuales de lo que sería difícil de comunicar únicamente en forma verbal; favorecer la retención de la información y su integración, así como clarificarla y organizarla, mejorando el interés y la motivación, motivo por el cual se manejaron colores atractivos. En su mayoría son imágenes descriptivas (figuras o dibujos) de las temáticas abordadas.

**Preguntas (ejercicios):** Se encuentran al final de cada guía, algunos fueron tomados de diferentes textos de física citados en la bibliografía. Tienen como objetivo facilitar el aprendizaje y evaluar la adquisición de conocimientos y la comprensión; cumplen las funciones de mantener el nivel de «activación» del alumno a lo largo de las sesiones de clase y favorecer la práctica y la reflexión sobre la información que se ha de aprender; pretenden el aprendizaje incidental (que el alumno se esfuerce por aprender).

# Capítulo 4

## Aplicación de Técnicas y Análisis

### 4.1. Técnica Uno y Técnica Dos

En la tabla 4.1 está registrado el patrón de temporalidad de la observación (fecha, hora, lugar, etc.), en la tabla 4.2 se muestran los registros anecdóticos y su análisis.

Sesión	Fecha	Hora	Periodo de registro	Lugar	Instrumento de registro
Primera	22/02/12		Dos horas	UPN	papel y lápiz. cámara de video.
Segunda	27/02/12	11 a.m.		Dpto.	
Tercera	27/02/12	12 a.m.	Una hora	de	
Cuarta	29/02/12			Física	
Quinta	05/03/12	11 a.m.	Dos horas	Sala de	
Sexta	07/03/12			Sistemas	

Tabla 4.1: Patrón de temporalidad de la observación.

Primera Sesión
<b>Observación</b>
Se llevó a cabo la planeación y la formulación de las preguntas para la sesión uno a lo largo de la clase. Primer momento: Respuestas de los alumnos: <i>Pregunta 1:</i> alumnos a coro "Por la fuerza eléctrica". <i>Pregunta 2:</i> $A_1$ : "la carga aumenta con el aumento de la temperatura"; $A_2$ : "la carga se conserva".

No hay mas respuestas, por lo que el docente pide a los estudiantes su opinión frente a las afirmaciones de sus compañeros, once alumnos apoyan la respuesta del  $A_1$  y solo dos apoyan la respuesta del  $A_2$ .

*Pregunta 3:* alumnos a coro “porque hay un campo eléctrico”. *Pregunta 4:* doce manifestaron no saber la respuesta y  $A_3$ ,  $A_4$  y  $A_5$ : “porque la naturaleza de los imanes es ser magnéticos, ellos tienen el magnetismo dentro”. Después de conocer las respuestas de los estudiantes frente a cada pregunta se dio la respuesta correcta y se justifico por qué es correcta.

Segundo momento:

Después de observar los videos los estudiantes afirman comprender mejor las leyes de Maxwell (algunos observaron los videos mas de tres veces); un estudiante pregunta “¿la ley de ampere y la ley de faraday son lo mismo pero al contrario?”, se responde la pregunta y se justifica la respuesta.

Tercer momento:

Se recomienda a los estudiantes hacer una lectura del contenido de la guía en casa para reforzar lo visto en clase. Los estudiantes proceden a realizar los ejercicios de la guía y continúan en casa, algunas dudas acerca de los ejercicios son resueltas en la pestaña asesoría del sitio web.

### Análisis

Los estudiantes están familiarizados con los conceptos de fuerza eléctrica y campo eléctrico, sin embargo, doce no conocen la noción de conservación de la carga eléctrica y ninguno le atribuye efectos magnéticos a las cargas en movimiento por lo cual se sorprendieron al saber la razón por la que los imanes son magnéticos, esto muestra que ellos no conocen las leyes de Ampere y Faraday. Después de observar los videos, los estudiantes se hacen una idea de las leyes de Maxwell y uno de ellos crea la duda en los demás acerca de la posible relación entre las leyes de Faraday y Ampere, por lo cual algunos estudiantes empiezan a pensar que dependiendo desde donde se vea un fenómeno puede estar regido por la una o por la otra. Pese a algunas dificultades los ejercicios fueron resueltos con gran habilidad por los estudiantes apoyados por la consulta de bibliografía sugerida y por el contenido de la guía; lo que muestra que a pesar de no manejar las leyes de Maxwell los estudiantes partieron de los conocimientos adquiridos en el curso de Electromagnetismo I para dar solución a los ejercicios y lo hicieron correctamente.

## Segunda Sesión

### Observación

Se recogen los ejercicios de la sesión anterior, dos estudiantes tuvieron dificultades con el ejercicio 3 y con el ejercicio 7, dudas que son resueltas al final de la segunda sesión.

Se llevó a cabo la planeación y la formulación de las preguntas para la sesión dos a lo largo de la clase.

Primer momento:

Respuestas de los alumnos:

*Pregunta 1* : alumnos a coro “la tierra o una nave flotando en el espacio”; *Pregunta 2*: el  $A_3$  responde “cuatroz los demás se acogen a esta respuesta; *pregunta 3*:  $A_8$  “hacer que las leyes de Newton no varíen”,  $A_6$  “expresar fenómenos desde diferentes puntos de vista”,  $A_1$  “hacer que las leyes de la física no varíen cuando cambiamos de sistema de referencia”; *pregunta 4*: alumnos en coro “no”; *pregunta 5*:  $A_{12}$  “no”,  $A_2$  “no porque no sé con respecto a qué me estoy movimiento”,  $A_5$  “no por qué si no sé con respecto a que me estoy moviendo no puedo saber si voy a velocidad constante o estoy en reposo”. Después de conocer las respuestas de los estudiantes frente a cada pregunta se dio la respuesta correcta y se justificó por qué es correcta.

Algunos estudiantes tienen preguntas frente a los planteamientos matemáticos que son resueltas mediante dibujos hechos en el tablero y a partir de éstos y de la guía del docente son los estudiantes quienes plantean las ecuaciones lo cual hace que el tema quede claro. Los estudiantes realizan el escrito previsto en la planeación y lo entregan.

Segundo momento:

Se recomienda a los estudiantes hacer una lectura del contenido de la guía en casa para reforzar lo visto en clase. Algunos estudiantes ingresan a la biografía de Galileo desde la página web, luego todos proceden a realizar los ejercicios de la guía y continúan en casa.

### Análisis

Los estudiantes identificaron rápidamente la diferencia entre los tipos de sistemas de referencia partiendo de su conocimiento del principio de inercia y adoptaron el concepto de evento relacionando el sistema de coordenadas cartesianas y el tiempo. Hay una concepción común acerca de la utilidad de las transformaciones de Galileo que es precisa y correcta pero no estructurada formalmente al igual que la invariancia de las leyes de Newton; esta inestructuración se debe a que siempre habían considerado fenómenos vistos desde un solo sistema de referencia. Los alumnos asocian el hecho de no poder hablar de su movimiento absoluto con su experiencia real, lo que hace que comprendan más rápido en que consiste la relatividad newtoniana. El uso del tablero y de las ilustraciones es muy importante para el planteamiento de las ecuaciones de Galileo, ya que hace posible que los estudiantes puedan plantearlas por “sentido común”. El ser guiados por el docente en el tablero hace que comprendan más rápido, así como el uso de un lenguaje sencillo pero no informal, pues de esta forma relacionan los conocimientos nuevos más fácilmente con lo que ya saben.

Los escritos elaborados por los estudiantes tienen un eje común que sustenta la utilidad de las transformaciones de Galileo correctamente, lo que indica que comprendieron que se puede describir un fenómeno desde diferentes sistemas de referencia y entienden los conceptos de *absoluto* y *relativo*. El contenido entre más atractivo visual tenga, más atención llama, ya que los estudiantes usan los datos curiosos que encuentran en la páginas sugeridas para hacer preguntas, resolver sus propias dudas y complementar los contenidos de la guía.

## Tercera Sesión

### Observación

Se recogen los ejercicios de la sesión anterior. Se llevó a cabo la planeación y la formulación de las preguntas para la sesión tres a lo largo de la clase.

Primer momento:

Respuestas de los alumnos:

*Pregunta 1:* alumnos a coro "porque las ecuaciones de Galileo fallaron",  $A_3$  "porque las ecuaciones de Galileo solo sirven para velocidades pequeñas"; *Pregunta 2:*  $A_9$  "porque para velocidades muy grandes el valor de las coordenadas empieza a tomar valores diferentes en un sistemas de referencia que en otro". Diez estudiantes tienen dudas frente a la deducción del coeficiente de Lorentz, se retoma la deducción en el tablero pero los estudiantes en grupo van relatándola paso a paso y se corrigen entre ellos, lo cual hace que el tema quede claro.

Segundo momento:

Los alumnos observan el video de las transformaciones de Lorentz, proceden a realizar los ejercicios de la guía dos y las preguntas de la guía tres y continúan en casa. Algunas dudas acerca de los ejercicios son resultas en la pestaña asesoría de la página.

### Análisis

Es clara para los alumnos la limitación de las ecuaciones de Galileo y la necesidad de usar las ecuaciones de transformación de Lorentz para sistemas que se mueven a grandes velocidades; esto quiere decir que los estudiantes asimilaron las nuevas transformaciones y las acomodaron a situaciones que ameritan su uso, subordinando las transformaciones de Galileo, es decir, aplicándolas a situaciones específicas en que las velocidades de los sistemas de referencia son pequeñas; por haberse descrito simplemente la utilidad de las transformaciones de Lorentz, los estudiantes obviamente no manejan las ecuaciones aplicadas a ejercicios con un nivel de complejidad dirigido a un alumno que curse la asignatura de Relatividad, solamente son capaces de hacer una descripción cualitativa de las mismas, lo que servirá como conocimiento previo en un futuro. La observación del video generó mucha sorpresa pues se mencionan aspectos que los estudiantes no conocían y esto los motiva a ampliar la información.

Pese a algunas dudas no hubo mayores dificultades en la resolución de las preguntas, lo que muestra que los conocimientos fueron adquiridos satisfactoriamente y se puede avanzar a la siguiente sesión.

## Cuarta Sesión

### Observación

Se recogen los ejercicios de la sesión anterior. Se llevó a cabo la planeación y la formulación de las preguntas para la sesión cuatro a lo largo de la clase.

Segundo momento:

Respuestas de los estudiantes:

*Pregunta 1:*  $A_{11}$  “la velocidad de la luz nunca cambia”,  $A_2$  “la velocidad de la luz es siempre igual”;  $A_5$  “todas las leyes de la física siempre son las mismas en cualquier sistema de referencia”,  $A_8$  “las leyes de la física son las mismas independientemente desde donde uno las mire”  $A_{15}$  “las leyes de la física son iguales para cualquier sistema de referencia”; *Pregunta 2:*  $A_4$  “el laboratorio, la partícula y el cable”,  $A_3$  “la partícula y el cable”. *pregunta 3:*  $A_5$  “no, es mayor la fuerza que ejerce el cable”,  $A_6$  “como el cable es mas grande que la partícula la fuerza que ejerce es mayor”,  $A_2$  “por el principio de acción y reacción deberían ser iguales, pero tengo dudas”,  $A_7$  “deben ser iguales por el principio de acción y reacción”; *pregunta 4:*  $A_{13}$  “el ejercicio está mal planteado”,  $A_7$  “no lo sé”  $A_5$  “la partícula va muy rápido y la solución falla”. *pregunta 5:* alumnos en coro “si”.

Tercer momento:

Se recomienda a los estudiantes hacer una lectura del contenido de la guía en casa para reforzar lo visto en clase. Algunos estudiantes ingresan al enlace a la biografía de Einstein y exploran la página que trata de temas de relatividad en general, el  $A_5$  pregunta: ¿existen los agujeros negros? y el  $A_2$  pregunta: ¿en qué consiste la paradoja de los gemelos? el docente responde las preguntas para toda la clase el resto de los estudiantes proceden a realizar los ejercicios de la guía y continúan en casa, no hay dificultades relevantes con la resolución de los ejercicios.

### Análisis

Los estudiantes mencionan y saben en qué consisten los postulados de la T.E.R y son capaces de identificar los sistemas de referencia en el ejercicio, esto es muy importante porque resaltan la diferencia entre relatividad especial y relatividad clásica, nuevamente subordinan un conocimiento, en este caso el de la relatividad clásica.

Asocian la magnitud de una fuerza al tamaño del cuerpo que la aplica y no tienen en cuenta el principio de acción y reacción, el estudiante que lo tuvo en cuenta pero duda lo hace porque el fenómeno es electromagnético y no mecánico; esto muestra que no hay una acomodación de la tercera ley de Newton por parte de los estudiantes y se dejan llevar por su intuición a pesar de la información que ya tienen y por el pensamiento de que las leyes de la mecánica no se aplican al electromagnetismo. Los estudiantes no pueden explicar la contradicción a la que llegan, porque la solución se hizo clásicamente usando los conceptos y métodos que ellos conocen hasta el momento por lo que concluyen que el ejercicio está mal planteado o simplemente no saben qué concluir. Todos están muy seguros de que la longitud de un objeto en movimiento se conserva porque consideran que es una medida absoluta, por lo que tuvieron que entrar en un desequilibrio para asimilar y acomodar la idea de contracción de la longitud a partir de lo que observaron en el video de la sesión anterior y de lo expuesto en clase por el docente, proceso que se desarrolló de una forma rápida y con resultados muy positivos ya que no hubo dificultad con la resolución de los ejercicios, lo que muestra que el concepto de contracción de la longitud quedó claro, los estudiantes se apoyaron en la bibliografía sugerida y en el contenido de la guía, esta consulta indica que el tema llama su atención.

## Quinta Sesión

### Observación

Se recogen los ejercicios de la sesión anterior. Se llevó a cabo la planeación y la formulación de las preguntas para la sesión cinco a lo largo de la clase.

Primer momento:

Respuestas de los estudiantes.

*Pregunta 1:*  $A_{10}$  "la carga se mantiene constante",  $A_5$  "como vimos en la primera clase, la carga se conserva igual siempre." *pregunta 2:* alumnos en coro "no",  $A_2$  "no se mantiene constante, porque la carga no varía pero el volumen sí porque ahora es más cortico." *pregunta 3:*  $A_5$  "porque la densidad de carga positiva es mayor",  $A_1$  "porque se hizo más pequeña la distancia entre las cargas positivas y hay más, entonces la densidad de carga positiva aumenta",  $A_9$  "se cargó porque la longitud se contrajo" *pregunta 4:*  $A_{14}$  "sí, pero en un sistema es eléctrica y en el otro magnética",  $A_1$  "sí son iguales en magnitud pero una es eléctrica y la otra es magnética."

Segundo momento:

Cada estudiante desde su computador ingresa al sitio web y visualiza la animación de la situación trabajada, así mismo responden algunas de las preguntas de la guía cinco de forma oral; algunos manifiestan entender mejor por qué el cable aparece cargado en el sistema de referencia de la partícula viendo la organización hipotética de las cargas en el cable que aparece en la animación.

**Tercer momento:**

Cada estudiante desde su computador ingresa a la simulación (en el sitio web) y realiza algunos ejercicios de la guía cinco, los alumnos se ven atraídos por la simulación ya que les llama la atención que cuando ingresan valores de velocidad altos la partícula no se ve y que dependiendo del signo de la carga y/o de la dirección de su velocidad la fuerza puede ser atractiva o repulsiva.

**Cuarto momento:**

Cada estudiante desde su computador ingresa a la sección dedicada al tubo de rayos catódicos (en el sitio web), hace la lectura sobre el aparato, observa los videos de su funcionamiento y «juega» con la animación del tubo. Todos los estudiantes manifiestan nunca haber visto este aparato ni conocer nada acerca de su funcionamiento y utilidad.

**Quinto momento:**

Se recomienda a los estudiantes hacer una lectura del contenido de la guía en casa para reforzar lo visto en clase. Los estudiantes proceden a realizar los ejercicios de la guía y continúan en casa, no hay dificultades relevantes con la resolución de los ejercicios.

<b>Análisis</b>
-----------------

<p>Los estudiantes tienen claro que la carga siempre se conserva independientemente del movimiento del cuerpo cargado, lo cual muestra que hay un aprendizaje de la invariancia y conservación de la carga que era ausente en la primera sesión; por otro lado, reconocen la importancia de la contracción de la longitud para comprender por qué el cable aparece cargado debido al aumento de la densidad de carga positiva, lo que indica que ya están considerando otra solución además de la clásica que en un principio causó un desequilibrio y están llevando a cabo un razonamiento hipotético-deductivo para solucionar un problema de operaciones formales. Los alumnos identifican la correspondencia entre el campo eléctrico y el campo magnético mencionando que lo que en un sistema es una fuerza eléctrica en el otro es una fuerza magnética y que los mismo ocurre con los campos; esta es la muestra clara de la comprensión de la relación existente entre conceptos que eran independientes al inicio de la primera sesión. La animación contribuye a ilustrar situaciones que pueden ser abstractas, dándole la posibilidad al estudiante de hacer «tangible» esa abstracción y posibilitado que acomode mejor hechos como la disminución de la distancia entre las partículas positivas dentro del cable. La simulación despierta el interés en el estudiante porque le da la posibilidad de ver como pasarían las cosas bajo diferentes parámetros; el alumno se motiva más cuando observa una situación que ha sido parametrizada por él o cuando sigue los parámetros de un ejercicio como los de la guía y consigue la respuesta esperada. El ejemplo de tubo de rayos catódicos le da al estudiante una idea práctica de lo trabajado en clase, que contribuye a la aplicación del conocimiento y al aprendizaje del funcionamiento de aparatos del laboratorio que es importante que el alumno conozca.</p>
--



No hay dificultades con la resolución de los ejercicios, de hecho fueron los que más llamaron la atención por usar las herramientas del sitio web y porque muchos los hicieron en grupo, además fue notorio el uso de un lenguaje diferente en los estudiantes, lo que muestra apropiación de algunos conceptos.

## Sexta Sesión

### Observación

Se recogen los ejercicios de la sesión anterior. Se llevó a cabo la planeación y la formulación de las preguntas para la sesión seis a lo largo de la clase.

Segundo momento:

Respuestas de los estudiantes:

*Pregunta 1:*  $A_5$  “el haz y el cable”,  $A_2$  “uno de los electrones en el haz y el cable”.

*Pregunta 2:*  $A_1$  “porque el cable ejerce una fuerza magnética sobre él”; como los estudiantes ingresaron al laboratorio en grupos las respuestas de los demás fueron muy parecidas e/o iguales a las de estos dos alumnos. *pregunta 3:* todos los alumnos “sí, pero la fuerza vista desde el electrón es eléctrica”.

Tercer momento:

Se finaliza la actividad, los estudiantes aportan sus conclusiones de toda la actividad.

### Análisis

Los estudiantes aplicaron los conocimientos adquiridos en clase en el laboratorio, lo que los motivo mucho, este tipo de actividades contribuye a que el alumno siga investigando y quiera profundizar en el tema.

Tabla 4.2: Registro anecdótico y análisis de la observación.

## 4.2. Técnica Tres

### 4.2.1. Prueba Diagnóstico

Esta prueba se aplicó antes del inicio de las sesiones de clase con los estudiantes. Los resultados se pueden observar en la figura 4.1<sup>1</sup>.

**Análisis:** La figura 4.1 revela que los alumnos tiene conocimientos previos acerca de los conceptos de fuerza eléctrica, campo eléctrico y fuerza magnética, ya que las preguntas 1, 2 y 4 fueron respondidas correctamente por entre 8 y 13 alumnos. Así mismo, hay una dificultad con la idea de conservación de la carga, ya que re-

<sup>1</sup>Ir al Apéndice C para observar el formato de cada prueba.

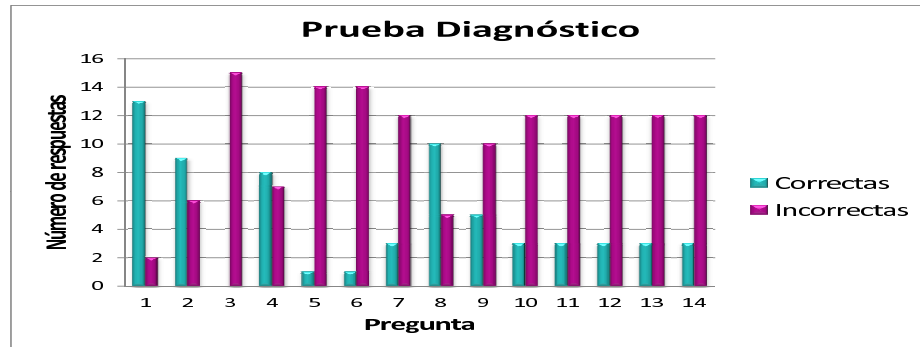


Figura 4.1: Resultados Prueba Diagnóstico.

conocen el enunciado de esta ley como lo muestran las respuestas a la pregunta 8, pero frente a un problema práctico no la tienen en cuenta ya que consideran que la carga aumenta con la temperatura y con la velocidad del objeto cargado, lo cual es planteado en la pregunta 6. Es evidente que los alumnos no identifican las leyes de Maxwell y no tienen conocimientos previos de relatividad especial pues las preguntas 3 y de la 7 a la 14 fueron respondidas de forma incorrecta por más del 80% de los alumnos.

En la figura 4.2 se pueden observar los conceptos que los estudiantes señalaron cuando se les preguntó cuales conocían; esta gráfica sustenta lo mencionado en el párrafo anterior, ya que la carga eléctrica, la fuerza eléctrica y el campo eléctrico son los conceptos que los estudiantes conocen; los conceptos referentes a las leyes de

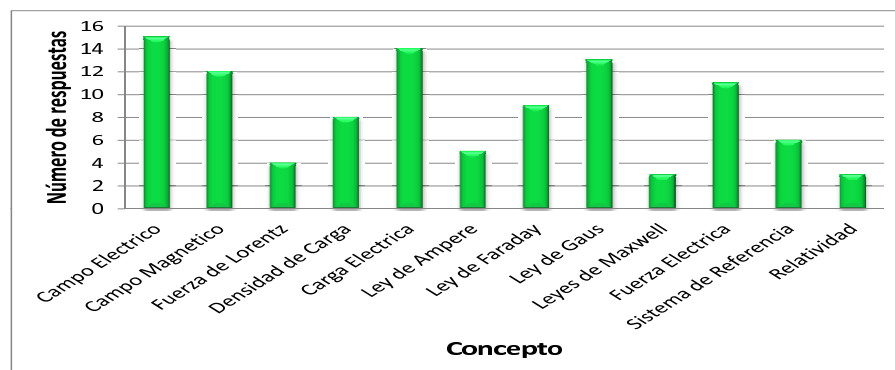


Figura 4.2: Conocimientos previos a la sesión uno.

Maxwell en particular la ley de Faraday y la ley de Ampere son identificados tan solo por el 20% de los estudiantes lo que corresponde a 3 o 4 personas, posiblemente porque solo han visto el curso de electromagnetismo I y apenas están iniciando el

de electromagnetismo II. En cuanto a conceptos de relatividad es notorio que los estudiantes no tienen conocimientos previos, pues las respuestas a las preguntas 7, 11, 12, 13 y 14 así lo demuestran. En promedio solo cinco estudiantes estarían preparados para las sesiones posteriores ya que tienen conocimientos previos a los temas que se desean abordar y diez alumnos necesitan una retroalimentación de conceptos de electromagnetismo antes de empezar las temáticas planeadas.

### 4.2.2. Prueba Intermedia

**Análisis:** La figura 4.3 revela los resultados de la prueba intermedia; esta gráfica muestra que los alumnos ya identifican las leyes de Maxwell, aunque hay dificultades con la ley de Faraday porque no reconocen su expresión matemática, prueba de esto es la respuesta a la pregunta 2. Las respuestas a la pregunta 9 evidencian que no conocen el comportamiento de la carga encerrada en un conductor. Las respuestas a las preguntas 6 y 8 muestran que los alumnos identifican la ley de Ampere, saben su significado y expresión matemática, lo cual es útil para avanzar a la cuarta sesión y que entiendan la solución planteada al ejercicio a trabajar. En promedio once estudiantes comprenden los conceptos de electromagnetismo necesarios para abordar la situación problema que se va a plantear posteriormente y cuatro aun tienen dificultades sobre las que hay que trabajar.

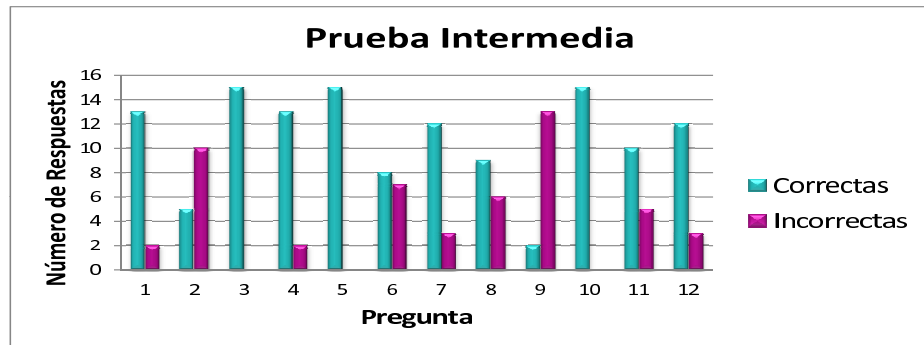


Figura 4.3: Resultados Prueba Intermedia.

### 4.2.3. Prueba Final

**Análisis:** La figura 4.4 muestra los resultados de la prueba final. En la gráfica se observa que alrededor del 80 % de los alumnos respondió las preguntas correctamente, lo que corresponde a 12 de 15 alumnos. Lo anterior hace suponer que:

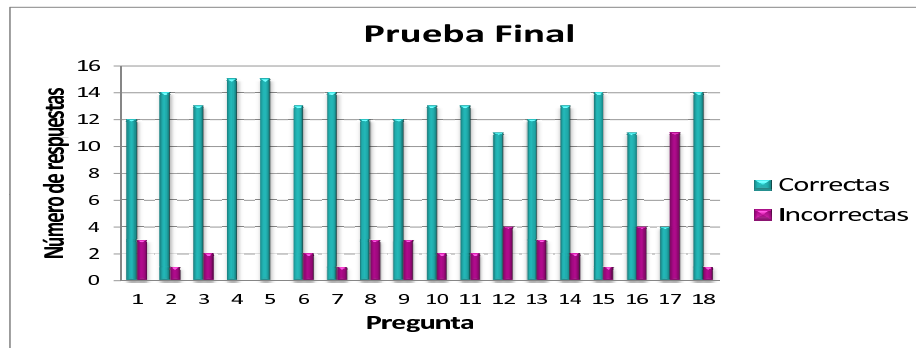


Figura 4.4: Resultados Prueba Final.

1. Los estudiantes aprendieron cual es el principio de relatividad clásica, qué es un sistema de referencia inercial, qué es un evento y reconocen las transformaciones de Galileo para coordenadas y velocidades.
2. Reconocen las transformaciones de Lorentz y su utilidad, así como la limitación de las transformaciones de Galileo.
3. Aprendieron y reconocen los postulados de la T.E.R.
4. Reconocen y entienden la idea de contracción de la longitud como lo evidencian las respuestas a las preguntas 8 a 11 y acomodaron esta idea a su estructura cognitiva.
5. Comprendieron la relatividad de los campos eléctrico y magnético a partir del evento trabajado en clase como lo muestran las respuestas a las preguntas 12 a 18; además, reconocen el papel de la contracción de la longitud en la solución a esta situación problema.
6. Algunos alumnos se confunden al identificar la expresión matemática de la fuerza en el evento trabajado como lo demuestran las respuestas a la pregunta 17.
7. En promedio tres alumnos tienen dificultades con conceptos de relatividad referentes a contracción de la longitud y correspondencia entre campos; por otra parte, en promedio doce estudiantes comprendieron las temáticas trabajadas a lo largo de la sesión.

Fortalezas	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> <li>✱ Interactividad.</li> <li>✱ El material llama la atención del estudiante.</li> <li>✱ Ayuda al estudiante con los conceptos que pueden ser abstractos.</li> <li>✱ Incentiva la motivación y el trabajo extra-clase.</li> <li>✱ Facilidad y comodidad de transporte.</li> <li>✱ Economía en presupuesto.</li> <li>✱ Genera conceptos previos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✱ Con la planeación propuesta en este trabajo de grado, puede pensarse en incluir este material en un curso posterior al de Electromagnetismo I para después verificar si la misma muestra de estudiantes mejora su desempeño en el curso de Relatividad.</li> </ul>
Debilidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> <li>✱ Se pone en discusión la relación maestro-alumno y la comunicación entre éstos.</li> <li>✱ No hay experimentación y una animación jamás es una copia de la naturaleza ya que sigue un modelo matemático.</li> <li>✱ El tiempo para cada sesión fue corto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✱ La muestra puede variar y la verificación se vería afectada.</li> <li>✱ Que en el desarrollo de la planeación no se tenga acceso al computador en clase y se pierda totalmente la comunicación con el estudiante.</li> </ul>

# Conclusiones

Tras llevar a cabo el análisis de los resultados de la aplicación de las técnicas de recolección de datos, se concluye que se ofreció una herramienta para la enseñanza/aprendizaje de términos básicos de relatividad especial como movimiento absoluto, movimiento relativo, relatividad clásica, transformaciones de Lorentz, postulados de la T.E.R y en particular de la idea de contracción de la longitud; partiendo del análisis de un evento de naturaleza electromagnética.

Se ha confirmado que usar multimedia como apoyo a una clase basada en la técnica de enseñanza por exposición tiene enormes ventajas para el proceso de enseñanza/aprendizaje de la física, ya que motiva el trabajo extraclase, ayuda a los estudiantes con ideas que pueden ser abstractas, es accesible por su economía, mejora el desempeño académico, propicia la concentración y permite la recolección rápida de datos e información; como se afirma en otras investigaciones acerca del uso del computador, de multimedia y de internet en la educación.

Se identificaron y aplicaron diferentes estrategias de enseñanza que motivaron al alumno, logrando que integre sus conocimientos, genere discusión, estructure sus ideas y busque soluciones a una situación problema; estas estrategias constituyeron la base de la construcción de la herramienta ofrecida, propiciando un aprendizaje significativo en los alumnos de los términos de relatividad restringida mencionados.

En lo que concierne a los alumnos, se concluye que posterior a la implementación de la herramienta son capaces de describir y definir los conceptos vistos y mencionar su utilidad y aplicación; además comprendieron la idea de contracción de la longitud y resaltaron su importancia en la deducción de la correspondencia de los campos eléctrico y magnético, llevando a cabo un razonamiento hipotético-deductivo; esto significa que la herramienta logró que construyeran ideas previas para engranarlas con nuevas ideas que seguramente les serán presentadas en cursos futuros, lo que les traerá enormes ventajas en la representación, contextualización y ubicación de las temáticas en su estructura cognitiva.

En la aplicación de la herramienta es muy importante el papel del docente como orientador y canal de comunicación entre el estudiante y los contenidos a aprender, por lo cual es necesario el uso de lenguaje y terminología adecuados y una actitud activa hacia la enseñanza que impulse iniciativa y autonomía en el alumno.

# Referencias

- [1] Fiolhais C, Trindades J. “Física No Computador: O Computador Como Ferramenta No Ensino E Na Aprendizagem Das Ciências Físicas”. *Revista Brasileira De Ensino De Física*. Vol.25. No. 3. 2003. p.259.
- [2] Garzón C, Florez A. “Guía Para El Maestro: Modelo Didactico Para La Enseñanza Del Electromagnetismo”. *Revista Colombiana De Física*. Vol. 38. No. 4. 2006. p.1415.
- [3] González A, Iñiguez J. “Las Animaciones Interactivas Y El Laboratorio De Física”. *Revista Cubana De Física*. Vol. 24. No. 1. 2007. p.27.
- [4] Medeiros A, Medeiros C. “Possibilidades E Limitações das Simulações Computacionais No Ensino Da Física”. *Revista Brasileira De Ensino De Física*. Vol. 24. No 2. 2002. p.77.
- [5] Nogueira J, Rinaldi C, Ferreira J, De Paulo S. “Utilização Do Computador Como Instrumento De Ensino: Uma Perspectiva De Aprendizagem Significativa”. *Revista Brasileira De Ensino De Física*. Vol. 22. No. 4. 2000. p. 517.
- [6] Ortega G, Medellín H, Martínez J. “Influencia En El Aprendizaje De Los Alumnos Usando Un Laboratorio Virtual De Física”. *Revista Cubana De Física*. Vol. 17. No. 1-2. 2000. p.68.
- [7] Pérez D.M. “Diseño De Una Herramienta Virtual Para La Enseñanza De La Relatividad Especial”. Trabajo de grado. Asesor: Cruz Y. Bogotá, Universidad Pedagógica Nacional, Facultad de Ciencia y Tecnología, Departamento de Física. 2009.
- [8] Rojas A, Oviedo J, Rojas S. “Los Applets En Física Y Su Impacto En El Desarrollo Del Pensamiento”. *Revista Colombiana De Física*. Vol. 43. No. 1. 2011. p.309. p.24.
- [9] Toro J, Devia A, Barco H, Rojas E. “Curso Interactivo De Física Con Laboratorio Virtual Para El Aprendizaje Y Simulación De Algunos Sistemas Físicos Usando Internet”. *Revista Colombiana De Física*. Vol. 33. No. 2. 2001. p.309.
- [10] Urrego W, Giraldo J, Flores J, Gonzales M. “El Computador En La Enseñanza De La Física: Leyes De Kepler Por Medio De Simulaciones”. *Revista Colombiana De Física*. Vol. 33, No. 2. 2001. p.300.

# Bibliografía

- [1] Acosta V. Cowan C. Graham B. *Curso de Física Moderna*. Oxford University. Traducción de Sadana J. 1999.
- [2] Anijovich R. Mora S. *Estrategias de Enseñanza. Otra mirada al quehacer en el aula*. Ed. Aique. Buenos Aires. 2010.
- [3] Bueche F. Hecht E. *Física General*. Serie Schaum. Editorial Mc Graw Hill. Novena edición. 2004.
- [4] De Zubiria J. *Los modelos pedagogicos*. FAMDI. Fondo de publicaciones Bernardo Herrera Merino. 1994.
- [5] Einstein A. *Zur elektrodynamik bewegter körper (Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento)*. Annalen der physik 17, p.891-921. (1905). Traducción de Quevedo Hernando. (2005).
- [6] Einstein A. Infeld L. *La Evolución de la física*. Salvat Editores. 1986.
- [7] Feynman R. Leighton R. Sands M. *The Feynman Lectures on Physics. Mainly Mechanics, Radiation and Heat*. Ed. Addison-Wesley. 1963.
- [8] French A. *Relatividad especial. Curso de física del M.I.T.* Editorial Reverté. 1988.
- [9] Griffiths D. College R. *Introduction to Electrodynamics*. Ed. Prentice Hall. USA. 1999.
- [10] Hurtado J. *Metodología de la investigación holística*. Fundación Cypal. Caracas. Tercera Edición. 1998.
- [11] Jackson J. *Clasical Electrodynamics*. Ed. John Wiley & Sons. USA. 1998.
- [12] Matvéev A. *Electricidad y Magnetismo*. Ed. Mir. Moscú. 1988.
- [13] Moreno G, De la Rosa L, et al. *La construccion de la confianza, una experiencia en proyectos de aula*. Editorial CEPE Bogotá. 1999.
- [14] Perez R, Gallego R. *Corrientes constructivistas. De los mapas conceptuales a la teoría de la transformación intelectual*. Cooperativa Editorial Magisterio Bogotá. 1994.
- [15] Pozo J.I. *Teorias cognitivas del aprendizaje*. Novena edicion. Ed Morata. Madrid. 1989.



- [16] Purcell E. *Electricidad y Magnetismo*. Berkeley Physics Course. Ed. Reverté. México. Vol 2. 1988.
- [17] Randall D. *Physics for Scientists and Engineers, a Strategic Approach*. Editorial Pearson. Vol.4. Segunda Edicion. 2008.
- [18] Resnick R. *Conceptos de relatividad y Teoría cuántica*. Editorial Limusa. 1981.
- [19] Resnick R. *Introducción a la teoría especial de la relatividad*. Editorial Limusa. 1977.
- [20] Resnick R. Halliday D. *Física*. Compañía Editorial Continental. Vol. 2. 1977.
- [21] Sadiku M. *Elementos de Electromagnetismo*. Oxford University. Tercera edicion. 2003.
- [22] Sears. Zemansky. Young. Freedman. *Física Universitaria*. Editorial Pearson. Vol. 1 y 2. Undecima edicion. 2008.
- [23] Serway R. *Electricidad y magnetismo*. Editorial Limusa. 2001.
- [24] Serway R. Beichner R. *Física para Ciencias e Ingenieria*. Editorial Mc Graw Hill. Vol. 2. Quinta edicion.
- [25] Serway R. Moses C. Moyer C. *Modern Physics*. Editorial Thomson. Tercera edicion. 2005.
- [26] Tipler P. *Física..* Ed. Reverté. Vol.1
- [27] Vélez F. Ph.D. *Apuntes de relatividad*. Universidad pedagogica Nacional, Departamento de Física. 2008.
- [28] Wagnes R. *Campos Electromagnéticos*. Editorial Limusa. 2001.
- [29] Woolfolk A. *Psicología Educativa*. Sexta edicion. Ed. Prentice Hall. Traducccion de Jose Julian Diaz. 1996.

# Anexos

# Anexo A

## Marco Legal

### A.1. Nombre de Dominio

Un nombre de dominio es una cadena de caracteres alfanuméricos, que cumple un formato y normas establecidos, en la que se traduce una dirección IP de una máquina. Los nombres de dominio constituyen la clave para el funcionamiento de internet. Desde el punto de vista técnico, a la vez que identifican los equipos conectados a la red ya que resuelven las direcciones IP, permiten su fácil localización y hacen amigable el uso de internet. Desde el punto de vista comercial, los nombres de dominio, como marca, sirven para identificar todo tipo de entidades como organismos, empresas y personas físicas junto con los servicios que prestan. Un nombre de dominio no es lo mismo que una dirección de internet o URL (Localizador Uniforme de Recursos), ya que técnicamente un nombre de dominio es solo una parte de ésta; otras de las partes pueden ser: una página en específico, una computadora en particular dentro del dominio, un archivo, protocolo, etc.

#### A.1.1. Normatividad

El nombre de dominio en Colombia es «.co» y la normatividad que lo regula es:

- **Resolución 600 de 2002:** “Por medio de la cual se regula parcialmente la administración del dominio .co”.
- **Resolución 284 del 2008:** “Por la cual adopta el modelo operativo para la administración del dominio .co”(Colombia).
- **Ley 1065 de 2006:** “Por la cual se define la administración de registros de nombres de dominio.co y se dictan otras disposiciones”.

### **A.1.2. Artículo 91 de la Ley 633 Diciembre del año 2000**

“Artículo 91. Todas las páginas Web y sitios de Internet de origen colombiano que operan en el Internet y cuya actividad económica sea de carácter comercial, financiero o de prestación de servicios, deberán inscribirse en el Registro Mercantil y suministrar a la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales DIAN, la información de transacciones económicas en los términos que esta entidad lo requiera.”

### **A.1.3. Sentencia C-1147 de octubre 31 de 2001**

“Se advierte que, para efectos de dar cumplimiento a lo dispuesto en el artículo 91 de la Ley 633 del 2000, en relación con el origen colombiano de la página web o sitio de internet, debe tenerse en cuenta el sujeto que está a cargo de la obligación, esto es, el comerciante persona natural o persona jurídica (sociedad o entidad sin ánimo de lucro). Es decir, que si el sujeto obligado tiene su domicilio en Colombia, su página web o sitio de internet será ”de origen colombiano”, debiendo, por tanto, cumplir con lo señalado en el artículo 91 de la ley antes mencionada.”

### **A.1.4. Concepto 05046273 de junio 20 de 2005**

“De acuerdo con lo anterior, se debe precisar que únicamente están en obligación de inscribirse en el registro mercantil, las páginas web o sitios de Internet que además de ser de origen colombiano, desarrollen directamente su actividad económica, bien sea esta, comercial, financiera o de prestación de servicios a través de la página web o sitio de Internet. En este sentido, resulta claro que en tanto una página de Internet no se utilice para la prestación de un servicio o para el desarrollo de una actividad económica, sino que tenga un carácter meramente informativo de tales servicios o actividad, como sería el caso por ejemplo, de una página informativa respecto de los servicios de salud que presta un hospital, dicha página web no tendrá que inscribirse en el registro mercantil que llevan las cámaras de comercio, dado que, como se ha advertido, la prestación del servicio, valga decir, la actividad económica del hospital no se realiza por medio de la mencionada página web.”

# Anexo B

## Guías de Trabajo

A continuación se presentan los contenidos de cada una de las guías de trabajo; para ver su formato original ingresar a <http://relecforce.webnode.com.co/> y descargarlas en pdf.

### B.1. Guía Uno: Repaso de Electromagnetismo.

#### OBJETIVOS

- Recordar conceptos básicos de electromagnetismo vistos en cursos anteriores.
- Identificar y analizar las leyes de Maxwell para la resolución de futuros problemas.

**Electromagnetismo.** Al finalizar el siglo XIX muchos de los fenómenos eléctricos y magnéticos eran de por sí bien conocidos, se sabía que hay dos tipos de cargas eléctricas que se atraen o se repelen con una fuerza cuya magnitud fue establecida por Charles Augustin de Coulomb (1736-1806) y que es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas y directamente proporcional al producto de sus cargas, se sabía también que trozos de magnetita (imán natural) pueden atraerse o repelerse entre sí y que suspendidas libremente se orientan en dirección norte-

sur lo que condujo al útil invento de la brújula, fue así como electricidad y magnetismo se desarrollaron como ciencias independientes una de la otra, hasta que en el año 1820 un docente de física danés, mientras dictaba su clase, se dio cuenta de que existía una interacción entre los imanes y la electricidad en movimiento, ya que una brújula se orientaba perpendicularmente a un alambre con corriente, a esta interacción Hans Christian Oersted (1777-1851) la llamó electromagnetismo y no fue la única, posteriormente André Marie Ampere (1775-1836) y Michael Faraday (1791-1867) mostrarían que corrientes eléctricas producen efectos magnéticos e imanes en movimiento producen corrientes eléctricas. En 1864 se formularon cuatro ecuaciones que sintetizaron las interacciones entre electricidad, magnetismo y las propiedades de cada uno y además, predijeron la existencia de ondas electromagnéticas así como su velocidad, la importancia de dichas formulaciones radica en la expresión matemática del electromagnetismo y son fruto del trabajo de James Clerk Maxwell (1831-1879), posteriormente Heinrich Hertz (1857-1894) produjo ondas cortas de radio, una aplicación práctica de las ondas electromagnéticas de Maxwell.

**La Carga Eléctrica.** Por experiencia en el laboratorio sabemos que al frotar una barra de plástico con piel animal adquiere **carga negativa** y al frotar una barra de vidrio con un trozo de seda adquiere **carga positiva**, sabemos también que cargas

opuestas se atraen y cargas iguales se repelen y que un cuerpo se puede electrificar por **conducción** o por **inducción**. Cuando la materia que se encuentra en un sistema determinado no atraviesa los límites de éste decimos que dicho sistema está aislado, partiendo de esto se enuncia la **ley de conservación de la carga**: *La carga eléctrica total en un sistema aislado nunca varía.*<sup>1</sup> Además, **la carga está cuantizada**, es decir, la magnitud de la carga del electrón o del protón es una unidad natural de carga y toda cantidad observable de carga eléctrica siempre será un múltiplo entero de esta unidad básica.

**Interacción Entre Partículas Cargadas.** Cuando dos partículas cargadas eléctricamente interactúan, ejercen entre sí una fuerza conocida como **fuerza eléctrica**, Charles Augustin de Coulomb (1736-1806) estudió con detalle esta fuerza y enunció que *la magnitud de cada una de las fuerzas eléctricas con que interactúan dos cargas puntuales es directamente proporcional al producto de las cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa.* Figura B.1.

$$F = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2} \quad (\text{B.1})$$

Esta llamada **Ley de Coulomb** es un buen ejemplo de una ley de *acción a distancia* de una carga sobre otra cuando se conoce la separación entre ellas, sin embargo, no nos da cuenta de cómo la primera carga "se percata" de que la segunda se encuentra allí y se asume que la acción fue instantánea.

Debido a esto, es conveniente considerar que una carga fuente ubicada en un punto del espacio tiene un efecto sobre el campo que la rodea y que a su vez este campo afecta a una carga ubicada dentro

<sup>1</sup>Por carga eléctrica total se entiende la suma algebraica de la carga positiva y la carga negativa presente en cierto instante.

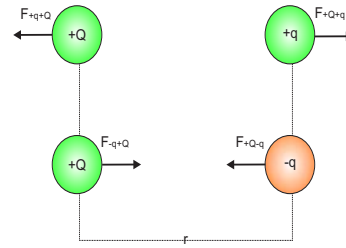


Figura B.1: Fuerza entre partículas cargadas. Cargas iguales se repelen y cargas opuestas se atraen.

de él, es decir, el campo es un medio entre las cargas que permite su interacción y es llamado **campo eléctrico**, este concepto nos ofrece otra manera de formular la ley de Coulomb, ya que la fuerza eléctrica sobre un cuerpo cargado es ejercida por el campo eléctrico creado por otros cuerpos cargados. La intensidad de campo eléctrico  $\mathbf{E}$  es la fuerza sobre una carga de prueba en un punto del campo de una carga fuente.

$$\mathbf{E} = \mathbf{F}/q_0 \quad (\text{B.2})$$

La unidad de magnitud de intensidad de campo eléctrico  $\mathbf{E}$  es  $N/C$ . Como la fuerza es una magnitud vectorial, el campo eléctrico también lo es, si la carga de prueba es positiva el campo tiene la misma dirección de la fuerza mientras que si la carga de prueba es negativa el campo tiene dirección opuesta a la fuerza. Gráficamente  $\mathbf{E}$  se representa mediante **líneas de fuerza**, que son rectas o curvas imaginarias que se trazan en una región del espacio (de cargas positivas a cargas negativas) y cuyas tangentes muestran la dirección del vector campo eléctrico en un punto dado, éstas nunca se cruzan y su separación da la idea de la magnitud del campo. Figura B.2.

Las partículas cargadas en reposo son fuentes de campos eléctricos, sin embargo cuando una partícula cargada está en movimiento además de generar este campo también induce un **campo magnético**,

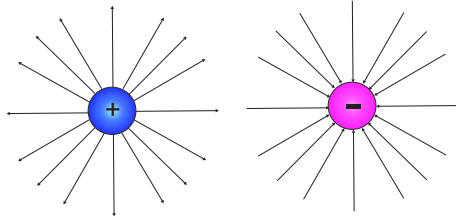


Figura B.2: Campo eléctrico de una carga puntual positiva y una carga puntual negativa.

este campo usualmente es asociado a imanes permanentes cuyas propiedades fueron estudiadas durante siglos, sin embargo en un imán el movimiento de cargas se encuentra en el movimiento de los electrones que lo conforman. El campo magnético también es una magnitud vectorial y así mismo se puede representar mediante líneas de inducción (análogas a las líneas de fuerza del campo eléctrico), figura B.3. La **inducción magnética  $\mathbf{B}$**  se define partiendo del hecho de que si una carga positiva de prueba  $q_0$  que se mueve con una velocidad  $v$  es desviada por una fuerza  $F$  en un punto  $P$ , entonces hay una inducción magnética  $B$  en el punto  $P$ , siendo  $B$  un vector que satisface la relación:

$$\mathbf{F} = q_0 \mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad (\text{B.3})$$

Donde  $\mathbf{F}$  es la **fuerza magnética** perpendicular al plano formado por  $\mathbf{v}$  y  $\mathbf{B}$ .  $F$  se anula cuando  $v$  es cero o paralela a  $B$  y toma su máximo valor cuando  $v$  es perpendicular a  $B$ :  $F = q_0 v B$ . La unidad de  $B$  es  $\text{N} \cdot \text{s} / \text{m}^2$  también conocida como *weber* /  $\text{m}^2$ .

La ley de Coulomb expresa la fuerza ejercida sobre una partícula cargada en movimiento o en reposo producida por *una carga en reposo* así como la fuerza magnética esta asociada a las cargas fuente que se encuentran en movimiento. Si una partícula cargada se mueve en un medio en el que hay tanto un campo eléctrico como

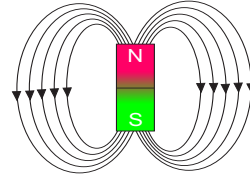


Figura B.3: Campo magnético alrededor de un imán recto.

un campo magnético, la fuerza resultante sobre la partícula es la suma de la fuerza eléctrica más la fuerza magnética, es decir una **fuerza electromagnética** expresada por:

$$\mathbf{F} = q_0 \mathbf{E} + q_0 \mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad (\text{B.4})$$

Con esta fórmula se pueden definir  $B$  y  $E$  en función de las fuerzas que se ejercen sobre las cargas en diversos estados de movimiento (incluyendo el reposo) en un punto dado, es conocida como **fuerza de Lorentz** en homenaje a H.A Lorentz.

**Ecuaciones de Maxwell.** Las leyes que se verán a continuación relacionan entre sí el campo magnético, el campo eléctrico y las corrientes y cargas que los crean. A lo largo del siglo XIX diferentes científicos conocieron de estas leyes a partir de métodos empíricos, pero fue Maxwell quién se dio cuenta de que con tan solo estas cuatro ecuaciones se describe el electromagnetismo en su totalidad; éstas ecuaciones se expresan normalmente en su forma integral, como se ve aquí, ya que así es posible utilizarlas en problemas muy concretos en que la geometría del sistema presenta simetrías que faciliten la integración, para otro tipo de problemas se usan las ecuaciones en su forma diferencial.

**Ley de Gauss para La Electricidad.** *El flujo eléctrico a través de una superficie cerrada es proporcional a la car-*

ga total encerrada. Figura B.4

$$\epsilon_0 \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = q \quad (\text{B.5})$$

Donde  $\epsilon_0$  se llama constante de permitividad ( $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2$ ) y  $q$  es la carga neta encerrada por una superficie gaussiana. Esta ecuación expresa la geometría del campo eléctrico, es decir como una fuente de campo eléctrico modifica el espacio, se dedujo a partir de experimentos en los que cargas iguales se repelen y cargas diferentes se atraen según la inversa del cuadrado de la distancia que las separa y además se evidenció que una carga aplicada a un conductor aislado se mueve a su superficie exterior.

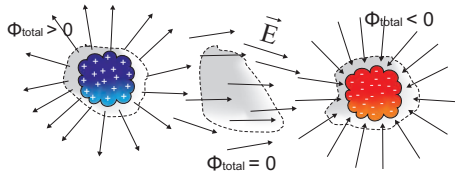


Figura B.4: Flujo eléctrico a través de una superficie cerrada.

**Ley de Gauss Para El Magnetismo.** *El flujo magnético a través de una superficie cerrada es cero.*

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0 \quad (\text{B.6})$$

Esta ley expresa que no existen monopolos magnéticos así como es imposible crearlos y describe el campo magnético.

**Ley de Ampere-Maxwell.** *Las corrientes eléctricas así como las variaciones del flujo de campo eléctrico generan campos magnéticos.*

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0(\epsilon_0 \frac{d\phi_E}{dt} + i) \quad (\text{B.7})$$

Donde  $\mu_0$  se llama constante de permeabilidad ( $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{weber/amp} \cdot \text{m}$ ) y  $d\phi_E$  es el flujo de campo eléctrico. Con esta ecuación Ampere describe el efecto magnético de una corriente o un campo eléctrico que cambia, figura B.5. Después Maxwell vería experimentalmente el hecho de que la velocidad de la luz se puede calcular mediante mediciones puramente electromagnéticas. Este es el principio del electroimán.

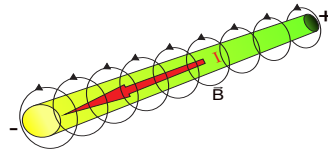


Figura B.5: Campo magnético alrededor de un cable por el que circula corriente.

### Ley De Inducción De Faraday.

*La variación del flujo de campo magnético a través de una espira induce una corriente.* Figura B.6.

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{d\phi_B}{dt} \quad (\text{B.8})$$

Donde  $\phi_B$  es el flujo de campo magnético. Esta ecuación describe el efecto eléctrico de un campo magnético cambiante partiendo de la experiencia en la que un imán recto pasa por una espira cerrada de alambre e induce corriente en la espira, ya que el campo eléctrico generado mueve las cargas a lo largo de la espira produciendo una corriente eléctrica. Este es el principio del generador eléctrico.

### Ejercicios.

1. Defiende la aseveración: "si hubiese una sola partícula con carga eléctrica en todo el universo el concepto de carga eléctrica carecería de significado."



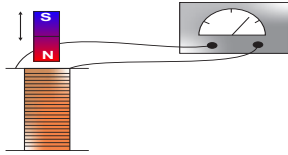


Figura B.6: Un campo magnético en movimiento induce una corriente.

2. Tres cargas puntuales están dispuestas en línea. La carga  $q_3 = 5nC$  está en el origen. La carga  $q_2 = 3nC$  está en  $x = 4cm$ . La carga  $q_1$  está en  $x = 2cm$ . ¿Cual es la magnitud y el signo de  $q_1$  si la fuerza neta sobre  $q_3$  es cero?
3. Una partícula alfa (carga  $+2e$  y masa  $6,64 \times 10^{-27}kg$ ) viaja hacia la derecha a  $1,5km/s$ . ¿Qué campo eléctrico uniforme (magnitud y dirección) se necesita para hacer que viaje hacia la izquierda con la misma rapidez al cabo de  $2,65\mu s$ ?
4. Una superficie cerrada contiene una carga neta de  $-3,60\mu C$ .
  - a) ¿Cuál es el flujo eléctrico neto a través de la superficie?.
  - b) El flujo eléctrico a través de la superficie cerrada resulta ser de  $780Nm^2/C$  ¿Que cantidad de carga encierra la superficie?
  - c) La superficie cerrada del numeral b es un cubo con lado  $2,50cm$  de longitud, con base en la información dad en el numeral b ¿es posible saber donde está la carga dentro del cubo? Explique su respuesta.
5. Una superficie gaussiana esférica encierra una carga puntual  $q$ . Si la carga puntual se desplaza del centro de la esfera a un punto alejado del centro. ¿cambia el campo eléctrico en un

punto de la superficie? ¿cambia el flujo total a través de la superficie gaussiana? Explica tu respuesta.

6. ¿Puede una partícula con carga trasladarse a través de un campo magnético sin experimentar ninguna fuerza? Explica tu respuesta.
7. Un electron experimenta una fuerza magnética cuya magnitud es de  $4,6 \times 10^{-15}N$  cuando se desplaza a un ángulo de  $60^\circ$  con respecto a un campo magnético con una magnitud de  $3,50 \times 10^{-3}T$ . Proporcione la rapidez del electrón.
8. Una partícula con carga de  $-1,24 \times 10^{-8}C$  se desplaza con una velocidad instantánea  $\mathbf{v} = (4,19 \times 10^4 m/s)\mathbf{i} + (-3,85 \times 10^4 m/s)\mathbf{j}$  ¿qué fuerza ejerce sobre esta partícula un campo magnético
  - a)  $\mathbf{B} = (1,40T)\mathbf{i}$ ,
  - b)  $\mathbf{B} = (1,40T)\mathbf{k}$
9. La figura B.7 muestra en sección transversal varios conductores que transportan corriente a través del plano de la figura. Las magnitudes de las corrientes son  $i_1 = 4A$ ,  $i_2 = 6A$  e  $i_3 = 2A$  y las direcciones son las que se indican, se muestran cuatro trayectos identificados de  $a$  a  $d$ . ¿Cuál es la integral de línea  $\oint \mathbf{B}d\mathbf{l}$  correspondiente a cada trayecto?

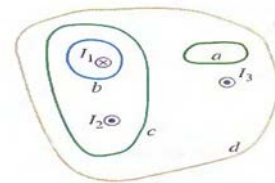


Figura B.7: Tomada de Sears, Zemansky, Young y Freedman. *Física Universitaria*. Vol 1. Ed. Pearson. 2008. P. 1103

## B.2. Guía Dos: Relatividad Clásica.

### OBJETIVOS

- Comprender el concepto sistema de referencia.
- Conocer las transformaciones de Galileo.
- Entender la relatividad Newtoniana.

**Relatividad Clásica.** Un fenómeno físico puede ser analizado por diferentes observadores desde diferentes sistemas de referencia, sin embargo, estas observaciones no son iguales y es necesario comparar unas con otras para saber como varía la expresión de dicho fenómeno de sistema a sistema, de esto se ocupa la relatividad. Antes de la aparición de la Teoría Especial de la Relatividad (TER) propuesta por Albert Einstein (1879-1955) otros científicos ya habían buscado la forma de expresar un fenómeno desde diferentes sistemas de referencia y fue a partir de estos estudios como se enunció el principio clásico de relatividad: *Todas las leyes de la naturaleza deben ser las mismas para todos los observadores que se mueven los unos con respecto a los otros a velocidad constante.*

**Sistemas de Referencia** Un sistema de referencia es un sistema de coordenadas espacio-tiempo en cuyo origen se supone situado un observador con respecto al cual se determina la posición de diferentes puntos en el espacio. Para abordar la relatividad acudimos a dos tipos de sistemas de referencia: los inerciales y los no inerciales.

**Sistemas de Referencia Inerciales** Estos sistemas están regidos por la primera ley de Newton, es decir la ley de la inercia, por lo cual no están acelerados y se mueven a velocidad

constante. Un sistema inercial ideal puede ser una nave espacial que va a la deriva por el espacio sin girar sobre su propio eje.

### Sistemas de Referencia No Inerciales

Este tipo de sistemas son aquellos que están acelerados con respecto a un sistema de referencia inercial.

La tierra es considerada un sistema de referencia casi inercial así como cualquier sistema que se mueva a velocidad constante con respecto a ella, pero todo sistema que se mueva con aceleración respecto a nuestro planeta, será un sistema de referencia no inercial. En este capítulo nos ocuparemos de los sistemas de referencia inerciales que se mueven a bajas velocidades con respecto a la velocidad de la luz  $c$ .

**¿Qué es un Evento?** La palabra *evento* se usa para indicar algo que sucede en cierto lugar en cierto instante, por ejemplo la emisión de una señal luminosa en un lugar y en un momento determinados. Un evento requiere **cuatro coordenadas** para su localización por un observador: las tres coordenadas cartesianas y el tiempo, estas son determinadas dependiendo del sistema de referencia que se escoja. Los fenómenos de la física están compuestos de dichos eventos.

### Transformaciones Galileanas

#### Transformación de Coordenadas

Supongamos que en el punto  $P$  de la figura B.8 ocurre un evento, dicho evento es analizado por dos observadores, uno que se encuentra en el sistema  $S$  y el otro en el sistema  $S'$ , por lo cual cada observador dará las respectivas coordenadas del evento de acuerdo a su sistema de referencia: en  $S(x, y, z, t)$  y en  $S'(x', y', z', t')$ , el sistema  $S'$  se mueve respecto al sistema  $S$  y se presupone que los intervalos de longitud y tiempo son absolutos, es decir, son

iguales para todos los observadores de un mismo evento esté su sistema en reposo o en movimiento. Ahora bien, ¿cual es la relación entre las mediciones de las coordenadas  $(x, y, z, t)$  y las mediciones de las coordenadas  $(x', y', z', t')$ ?, pues podemos suponer, para simplificar, que cuando  $O$  y  $O'$  coinciden  $t = t' = 0$ , entonces las llamadas transformaciones galileanas de las coordenadas que relacionan  $(x, y, z, t)$  con  $(x', y', z', t')$  son:

$$\begin{aligned} x' &= x - vt \\ y' &= y \\ z' &= z \end{aligned}$$

Como el tiempo es absoluto entonces:

$$t' = t$$

Antes de Einstein estas ecuaciones fueron consideradas como una cuestión de sentido común y llevaron a concluir que de acuerdo con la mecánica clásica y dichas transformaciones, las tres cantidades básicas en la mecánica, longitud, masa y tiempo son independientes del movimiento relativo de quien las mida (el observador).

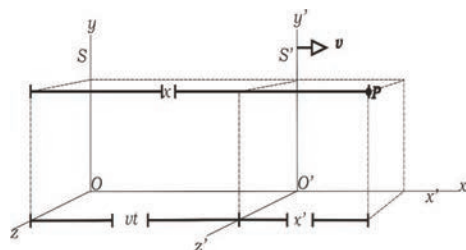


Figura B.8: Un sistema de referencia  $S'$  se mueve con respecto a un sistema de referencia  $S$  (Tomada de Resnick R. *Conceptos de Relatividad y Teoría Cuántica*. Ed. Limusa. 1981. P.18).

### Transformación de Velocidades

Ya vimos como se relacionan las mediciones de coordenadas de diferentes sistemas de referencia, pero, ¿cómo se comparan las mediciones de velocidades y aceleraciones de los objetos hechas por diferentes observadores en sus respectivos sistemas de referencia?, para responder a esta pregunta, se llevaron a cabo diferenciaciones sucesivas con respecto a  $t$  a las transformaciones galileanas para llegar a la transformación de la velocidad de un sistema a otro partiendo de:

$$x' = x - vt$$

De esta manera se llegó al sistema clásico de adición de velocidades:

$$\begin{aligned} \mathbf{u}_x &= \mathbf{u}'_x + \mathbf{v}_x \\ \mathbf{u}_y &= \mathbf{u}'_y + \mathbf{v}_y \\ \mathbf{u}_z &= \mathbf{u}'_z + \mathbf{v}_z \end{aligned}$$

Donde  $u'_i$  es la velocidad medida en  $S'$ ,  $u_i$  la velocidad medida en  $S$  y  $v_i$  la velocidad relativa de los sistemas. Si esta trans-

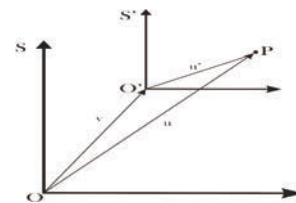


Figura B.9: Adición de velocidades (Tomada de Vélez Fabio Ph. D. *Apuntes de Relatividad*. Universidad Pedagógica Nacional. 2008. P.22).

formación se diferencia con respecto a  $t$  y teniendo en cuenta que la velocidad relativa de los sistemas es constante, por lo cual el cambio de velocidad de un objeto será el mismo para los dos observadores en sus sistemas de referencia, cada uno de ellos medirá la misma aceleración para el objeto, por lo tanto:

$$a' = a \tag{B.9}$$

Como vimos la masa es una cantidad absoluta que no varía con el movimiento, (para la física clásica), por lo cual el producto  $ma$  sera el mismo para todos los sistemas de referencia, entonces:

$$\begin{aligned} ma &= ma' \\ F &= F' \end{aligned} \quad (\text{B.10})$$

Por consiguiente, las leyes de Newton y las ecuaciones de movimiento de un objeto son exactamente iguales en todos los sistemas de referencia inerciales y como los principios de conservación (energía, cantidad de movimiento, momento angular) son consecuencia de las leyes de Newton, se deduce entonces que las leyes de la mecánica son iguales para todos los sistemas de referencia inerciales!, es decir, los valores numéricos de una cantidad mecánica pueden variar pero la forma en que se expresa esta entidad siempre sera la misma. Una consecuencia importante de lo anterior es que ningún experimento mecánico realizado dentro de un sistema de referencia inercial puede indicarnos cual es el movimiento de dicho sistema con respecto a otro sistema de referencia inercial, al hecho de que hablamos de nuestro movimiento con respecto a otro sistema y no a nuestro movimiento absoluto se suele llamar *Relatividad Newtoniana*.

### Ejercicios.

- Una estación de radar fija en la tierra rastrea dos naves cohete muy rápidas que se aproximan una a la otra a velocidades de  $0,60c$  y  $0,80c$  respectivamente, donde  $c$  es la velocidad de la luz. ¿Cuál es la velocidad con la que se aproximan según un astronauta situado en una de ellas, de acuerdo con las transformaciones galileanas?
- Un vagón se mueve en la dirección de las equis de un sistema de referencia fijo en la estación a  $5m/s$ . Una persona camina por el andén de la estación paralelamente a la carrilera a  $2m/s$  respecto a la estación. ¿A qué velocidad se mueve la persona respecto a la estación de acuerdo con Galileo?
- ¿Si me desplazo en un automóvil que viaja a velocidad constante con los vidrios oscuros sin que pueda ver el exterior me es posible saber si en realidad me muevo o estoy en reposo?
- Un avión esta volando a una velocidad de  $200m/s$  con respecto al suelo. Una onda de sonido 1 se acerca al avión por la parte delantera y una onda de sonido 2 alcanza al avión por la parte trasera, las ondas viajan a  $340m/s$  con respecto al suelo. ¿cuál es la velocidad de cada onda respecto al avión?
- En  $t = 1s$  un petardo explota en  $x = 1m$  en el sistema de referencia  $S$ , cuatro segundos después explota un segundo petardo en  $x = 20m$ . El sistema de referencia  $S'$  se mueve en la dirección  $x$  a una velocidad de  $5m/s$ . ¿cuales son las posiciones de estos eventos en el sistema  $S'$ ?
- Un joven repartidor de diarios conduce su bicicleta a una velocidad de  $5m/s$  con respecto al suelo, él puede lanzar el diario a una velocidad de  $8m/s$  con respecto a su cuerpo. ¿Cuál es la velocidad del diario con respecto al suelo si lo lanza
  - al frente,
  - hacia atrás,
  - de lado?

## B.3. Guía Tres: Coeficiente de Lorentz.

### OBJETIVOS

- Conocer las transformaciones de Lorentz para las coordenadas de un sistema.
- Reconocer la importancia del coeficiente de Lorentz para el análisis de fenómenos que ocurren en sistemas de referencia que se mueven a grandes velocidades.

**Transformaciones de Lorentz.** A partir de la Relatividad Newtoniana muchos científicos se preguntaron si al igual que las leyes de la mecánica, otras leyes de la física como las del electromagnetismo también son invariantes bajo una transformación galileana, de ser así la Relatividad Newtoniana se aplicaría a toda la física como principio, sin embargo las ecuaciones de Maxwell no son invariantes bajo la transformación de Galileo, es decir, en un sistema de referencia toman una forma y en otro sistema otra, debido a esto se hicieron tres supuestos:

1. Las ecuaciones de Maxwell no son validas.
2. Existe un sistema de referencia preferido respecto al cual se puede medir cualquier movimiento.
3. Las transformaciones de Galileo no son adecuadas.

Para responder muchas de las preguntas que surgieron a partir de los supuestos anteriores se hicieron varios intentos por encontrar el sistemas de referencia preferente y por modificar la electrodinámica pero finalmente se concluyó que la solución estaba en la modificación de las ecuaciones de transformación de Galileo y fue aquí donde

se dio paso a unas nuevas e importantes ecuaciones de transformación que harían invariante no solo la mecánica sino también el electromagnetismo bajo un cambio de sistema de referencia: *Las transformaciones de Lorentz.*

### Transformación de coordenadas.

Muchos físicos, entre ellos Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928) se dieron cuenta de que las ecuaciones de transformación de Galileo fallaban a la hora de describir el movimiento de objetos que se mueven a grandes velocidades o en sistemas cuya velocidad relativa sea cercana a la velocidad de la luz. Lorentz planteo que las ecuaciones de transformación para velocidades cercanas a la velocidad de la luz debían partir de las ecuaciones de Galileo, pues a fin de cuentas gracias a estas se explicaban muchos movimientos y habían sido usadas durante siglos, pero estas además debían incluir un coeficiente de transformación que las hiciera validas tanto para velocidades bajas como para velocidades cercanas a la velocidad de la luz; entonces para un sistema  $S'$  que se mueve a lo largo del eje de las equis de un sistema  $S$  las ecuaciones de transformación de coordenadas serán:

$$x' = \gamma(x - vt) \quad (\text{B.11})$$

$$y' = y \quad (\text{B.12})$$

$$z' = z \quad (\text{B.13})$$

Como vemos el coeficiente para las coordenadas  $y'$  y  $z'$  tiene un valor de uno, pero para la coordenada  $x'$  toma un valor  $\gamma$  por ser la coordenada sobre la que se efectúa el movimiento.

**Coeficiente de Lorentz** Para saber cual es el valor de este coeficiente de transformación, partimos del objetivo de las ecuaciones de transformación: que todas las leyes de la física sean las mismas en todos los sistemas inerciales, entonces las distancia

recorrida por un haz de luz será en  $S : x = ct$  y en  $S' : x' = ct'$ , si tenemos:

$$\begin{aligned}x' &= \gamma(x - vt) \\x &= \gamma(x' + vt')\end{aligned}$$

Podemos encontrar fácilmente el valor de  $\gamma$  como lo muestra la tabla B.1<sup>2</sup>.

### Transformación de velocidades

Así como hay unas transformaciones de Lorentz para las coordenadas espaciales, también las hay para la velocidad, la fuerza y el tiempo, esta es por ende una de las consecuencias importantes de estas ecuaciones, en la relatividad especial, a diferencia de la relatividad clásica  $t \neq t'$ , es decir, si en un sistema de referencia inercial se mide un intervalo de tiempo para un evento, este intervalo es diferente al medido en otro sistema de referencia inercial (que se mueva con respecto al primer sistema de referencia) para el mismo evento. La ecuación de transformación que relaciona las mediciones de tiempo en un sistema de referencia  $S$  con las mediciones de tiempo en un sistema  $S'$  es:

$$\gamma\left(t' - \frac{x'v}{c^2}\right) = t \quad (\text{B.14})$$

Efectuando diferenciaciones con respecto al tiempo es posible llegar así a las ecuaciones de transformación de Lorentz para las velocidades en los diferentes ejes ( $x, y, z$ ):

$$u'_x = \frac{u_x - v}{1 - \frac{u_x v}{c^2}} \quad (\text{B.15})$$

$$u'_y = \frac{u_y}{\gamma\left(1 - \frac{u_x v}{c^2}\right)} \quad (\text{B.16})$$

$$u'_z = \frac{u_z}{\gamma\left(1 - \frac{u_x v}{c^2}\right)} \quad (\text{B.17})$$

### Preguntas

1. Menciona la que consideres la razón para la aparición de las ecuaciones de transformación de Lorentz.
2. ¿Cuál es el papel del factor  $\gamma$  en las ecuaciones de transformación de Lorentz?
3. ¿Qué significa que las leyes del electromagnetismo no sean invariantes bajo las transformaciones de Galileo?, ¿qué consecuencia trajo consigo esta afirmación?
4. ¿Existe un sistema de referencia preferido respecto al cuál se puede medir cualquier movimiento?
5. Si la velocidad de la luz fuera de  $100m/s$  ¿Habrían sido planteadas las ecuaciones de Lorentz?
6. ¿Por qué en las ecuaciones de transformación de las coordenadas  $y$  y  $z$  no está presente el factor  $\gamma$ ?, ¿de qué depende su aparición las ecuaciones de transformación para estas coordenadas?

<sup>2</sup>Tomada de Vélez Fabio Ph. D. *Apuntes de Relatividad*. Universidad Pedagógica Nacional. 2008. P.61

$x' = ct'$	
$\gamma(x - vt) = ct'$	se aplica la transformación a $x'$
$\gamma(ct - vt) = ct'$	se tiene en cuenta que $x = ct$
$\gamma(t)(c - v) = ct'[1]$	
$x = ct$	
$\gamma(x' + vt') = ct$	se aplica la transformación a $x$
$\gamma(ct' + vt') = ct$	se tiene en cuenta que $x' = ct'$
$\gamma(t')(c + v) = ct[2]$	
$[\gamma(t)(c - v)][\gamma(t')(c + v)] = [(ct')(ct)]$	se multiplican [1] y [2]
$\frac{[\gamma(t)(c-v)][\gamma(t')(c+v)]}{(tt')} = \frac{(ct')(ct)}{(tt')}$	se divide a ambos lados entre $tt'$
$[\gamma(c - v)][\gamma(c + v)] = [(c)(c)]$	
$\gamma^2(c^2 - v^2) = c^2$	
$\gamma^2 = \frac{c^2}{c^2 - v^2}$	se divide el segundo termino entre $c^2$ .
$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - (v^2/c^2)}}$	valor del coeficiente de Lorentz.

Tabla B.1: Deducción del coeficiente de Lorentz



## B.4. Guía Cuatro: Relatividad Especial y Electromagnetismo I.

### OBJETIVOS

- Describir los postulados de la T.E.R.
- Analizar la fuerza que actúa sobre una partícula cargada que se mueve con respecto a un cable por el que fluye una corriente continua desde el punto de vista clásico.
- Conocer el concepto contracción de la longitud y su influencia en la densidad de carga de un objeto cargado en movimiento.

**Relatividad Especial.** *Lo que me condujo mas o menos directamente a la teoría especial de la relatividad fue la convicción de que la fuerza electromotriz que actúa sobre un cuerpo en movimiento en un campo magnético no era mas que un campo eléctrico... lo que en un sistema de coordenadas aparenta ser un campo magnético, en otro sistema de coordenadas resulta ser simplemente un campo eléctrico.*<sup>3</sup>

ALBERT EINSTEIN (1952)

En 1905, Albert Einstein dio a conocer su teoría especial de la relatividad, con esta teoría generalizó la mecánica newtoniana y la hizo un caso especial de sus planteamientos a pesar de que solo deseaba comprender mas a fondo la naturaleza del electromagnetismo. La teoría de la relatividad se

<sup>3</sup>De una carta dirigida al Michelson Commemorative Meeting de la Cleveland Physics Society, citada por R. S. Shankland, Am. J. Phys., 32, 16 (1964), p 35.

puede dividir en dos partes correspondientes a la *relatividad especial* y a la *relatividad general*, aquí solo trataremos la relatividad especial.

**Postulados.** La teoría de la relatividad se ocupa de manera básica de la comparación de los resultados obtenidos por diferentes observadores de un fenómeno físico, quienes se están moviendo unos respecto a otros. La teoría especial propuesta por Einstein en 1905 se ocupa de observadores que se mueven a velocidad constante unos con respecto a otros. Los orígenes de la teoría de la relatividad especial se encuentran en la estructura de la teoría electromagnética por lo que vamos a considerar ciertos efectos electromagnéticos como si nos estuviéramos moviendo a velocidad constante. La teoría de la relatividad maneja dos postulados básicos:

1. *Las leyes de acuerdo a las cuales cambian los estados de los sistemas físicos no dependen de si estos cambios de estado se refieren a uno u otro de dos sistemas de coordenadas que se encuentran en movimiento relativo de traslación uniforme.*
2. *Cualquier rayo de luz se propaga en un sistema de coordenadas en reposo con cierta velocidad  $v$ , independientemente de si este rayo de luz ha sido emitido por un cuerpo en reposo o en movimiento.*<sup>4</sup>

Con estos postulados queda por sentado que todos los fenómenos físicos se pueden describir en cualquier sistema coordenado y que la velocidad de la luz en el vacío ( $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ) es constante para cualquier observador ya sea que esté en movimiento o

<sup>4</sup>Einstein Albert. *Zur elektrodynamik bewegter körper (Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento)*. Annalen der physik, p.891-921. (1905). Traducción de Quevedo Hernando. (2005).p.17



en reposo.

Fuerza sobre una partícula que se mueve con respecto a un cable por el que fluye una corriente continua. Las ecuaciones de transformación de Lorentz trajeron consigo una serie de consecuencias bien importantes para la medición de cantidades como la longitud, que, en mecánica clásica eran consideradas medidas absolutas. Un sencillo ejemplo nos llevara a evidenciar esta consecuencia. Haciendo el ejercicio mental podemos ver una partícula (electrón) con carga  $q$  como la de la figura B.10 que se mueve paralela a un alambre por el que circula una corriente continua  $i$  (el alambre es eléctricamente neutro), la velocidad de la partícula es la misma que las de los electrones que están circulando dentro del alambre, esto ocurre en un sistema  $S$  donde el alambre se encuentra en reposo, si nos trasladamos a un sistema  $S'$  fijo en la partícula,

es el alambre quien ahora esta en movimiento con respecto a la partícula. En el sistema de referencia  $S$  se observa que al cabo de un tiempo  $t$  la partícula desvía su trayectoria hacia el alambre, es decir sobre ella esta actuando una fuerza; en el sistema  $S'$  seguramente, este acercamiento entre el alambre y la partícula también debe observarse, es decir en ambos sistemas de referencia esta actuando una fuerza, dicha fuerza debe tener una magnitud en  $S$  exactamente igual a la magnitud en  $S'$ .

Para comprobar la suposición anterior, vamos a calcular la fuerza en cada sistema de referencia.

En  $S$  la partícula lleva una velocidad y su trayectoria es desviada, por lo que podemos concluir que hay presente un campo magnético actuando sobre ella, esto nos resulta obvio debido a que sabemos que por el alambre circula una corriente que induce un campo magnético que obedece a la ley de Ampere y que ejerce una fuerza sobre la partícula.

El campo magnético cerca a un alambre por el que circula corriente es:

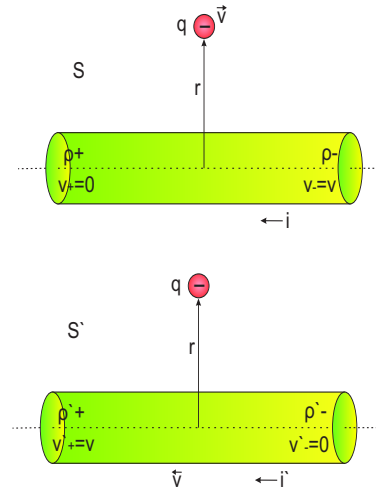


Figura B.10: En el sistema  $S$  la carga  $q$  se mueve con respecto al alambre mientras que en el sistema  $S'$  es el alambre el que se mueve con respecto a la carga que ahora se encuentra en reposo.

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r}$$

Como  $v$  y  $\mathbf{B}$  son perpendiculares entonces  $F = qvB$ .

$$F = \frac{qv\mu_0 i}{2\pi r}$$

Recordemos que  $\mu_0$  se llama constante de permeabilidad magnética y esta relacionada con la constante de permitividad eléctrica  $\epsilon_0$  así:

$$\epsilon_0 \mu_0 = \frac{1}{c^2} \quad (\text{B.18})$$

Teniendo en cuenta lo anterior y que  $i = A\rho v$  (aquí  $v$  es la velocidad de arrastre de

los electrones en la corriente), **la fuerza magnética** que actúa sobre la partícula en el marco  $S$  estaría expresada por:

$$F = \frac{q}{\epsilon_0 c^2} \frac{v^2 \rho A}{2\pi r} \quad (\text{B.19})$$

Donde  $\rho$  es la densidad de carga volumétrica en el alambre (densidad de carga negativa por ser los electrones los que se encuentran en movimiento),  $A$  su sección transversal y  $r$  la distancia de la partícula al alambre.

En  $S'$  la partícula esta en reposo y es el alambre el que se mueve, como la partícula lleva la misma velocidad de las cargas negativas (electrones), éstas también se encuentran en reposo y son las cargas positivas (iones) las que ahora se encuentran en movimiento, podríamos suponer que como son cargas en movimiento generan un campo magnético que actuaría sobre la partícula, pero en este sistema la velocidad de la partícula es cero pues se encuentra en reposo, por lo cual la fuerza magnética sería cero y no habría efecto alguno, es decir **en  $S'$  la fuerza sobre la partícula es nula**, esto nos resulta paradójico pues en un sistema se vería acercar la partícula al alambre y en el otro no, Al iniciar el análisis del ejercicio pensamos que la fuerza en  $S$  debía ser exactamente igual a la fuerza en  $S'$ , sin embargo vemos que aparentemente no es así, esto va en contra de nuestra intuición y suposiciones iniciales, debido a esta aparente contradicción vamos a ver como la relatividad especial nos ofrece una alternativa para la solución de este problema. En el sistema  $S$ , la fuerza que actúa sobre la partícula es simplemente la ecuación 2, sin embargo veamos con mas detalle la expresión para la fuerza en  $S'$ , donde el alambre esta en movimiento respecto a la partícula, pero antes echemos un vistazo a la longitud del alambre cuando éste está en movimiento.

De la mecánica clásica recordamos que la longitud, la masa y el tiempo son canti-

dades absolutas, es decir independientes del sistema de referencia donde sean medidas, sin embargo a partir de las ecuaciones de transformación de Lorentz para las coordenadas, los físicos se dieron cuenta de que esto no es así, dicha afirmación puede ser objeto de confusión, ya que se acostumbra a pensar que si la longitud de un objeto no fuera contante observada desde cualquier marco, el objeto parecería rígido a un observador en reposo con respecto a éste y elástico a otro observador en movimiento relativo al primero, pero, Einstein afirmo que es posible imaginar que una barra en movimiento relativo cambie su longitud, siempre que las leyes que rijan dichas variaciones sean las mismas para todos los sistemas de referencia inerciales.

Retomemos el alambre de nuestro ejemplo, visto desde el sistema  $S'$  éste se encuentra en movimiento, al medir su longitud en un instante  $t$  en el que para el sistema  $S'$  el cable está en reposo su longitud será  $(x'_b - x'_a)$ , como se observa en la figura B.11, ¿Cómo será esta longitud comparada con la medida en el sistema de referencia  $S$ ?, para saberlo usamos la transformación de Lorentz para las coordenadas:

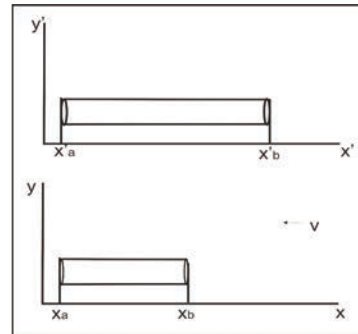


Figura B.11: La longitud del alambre se contrae cuando éste se encuentra en movimiento.

$$x'_b = \gamma(x_b - vt)$$

$$\begin{aligned}x'_a &= \gamma(x_a - vt) \\x'_b - x'_a &= \gamma(x_b - vt - x_a + vt) \\x'_b - x'_a &= \gamma(x_b - x_a)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}x'_b - x'_a &= \\x_b - x_a &= L\end{aligned}$$

$$L_0 = \gamma L \rightarrow L = L_0 \sqrt{1 - v^2/c^2} \quad (\text{B.20})$$

La ecuación nos muestra que la longitud del alambre en movimiento es menor que la longitud de este en reposo, es decir, se contrae por el factor de Lorentz.

$$L < L_0$$

Este cambio en la longitud de un objeto cuando esta en movimiento se conoce como **Contracción de la longitud** y fue propuesto por Lorentz y Fitzgerald, Einstein se refirió a cerca de esta como una propiedad del espacio mismo, de aquí se concluye que:

1. Para un valor de  $v$  pequeño  $L = L_0$ .
2. La contracción solo ocurre en la dirección del movimiento. ( $z' = z; y' = y$ )
3.  $v$  debe ser siempre menor que  $c$  ya que  $L$  tomaría valores imaginarios.

### Ejercicios

1. En reposo un regla tiene una longitud de  $50\text{cm}$ , si posteriormente la regla se mueve con una velocidad de  $0,95c$  con su longitud perpendicular al movimiento. ¿Es su longitud ahora menor a  $50\text{cm}$ ? si es así, ¿qué tan corta es?
2. ¿Cómo sería la longitud de un objeto que se mueve a la velocidad de la luz  $c$  medida por un observador en reposo? Explica tu respuesta.
3. Una nave espacial pasa volando cerca a un planeta con una velocidad de  $0,60c$ , un científico de ese planeta

mide la longitud de la nave en movimiento y encuentra que es de  $74\text{m}$ , la nave aterriza poco después en el planeta y el mismo científico mide la longitud de la nave ahora inmóvil. ¿Qué valor obtiene?

4. Una nave espacial pasa volando cerca a la tierra con una velocidad de  $0,990c$ . Un miembro de la tripulación a bordo de la nave mide la longitud de esta, y obtiene un valor de  $400\text{m}$  ¿Que longitud miden los observadores que se hallan en la tierra?
5. Si estuvieras viajando en una nave espacial a una velocidad de  $0,80c$ , ¿te parecerían contraías las reglas de un metro a bordo de la nave?
6. ¿Cuál es la paradoja en el ejercicio de la partícula cargada moviéndose respecto al cable con corriente? ¿Por qué en el sistema  $S'$  la fuerza sobre la partícula es cero?

## B.5. Guía Cinco: Relatividad Especial y Electromagnetismo II.

### OBJETIVOS

- Comprender la invariancia de la carga bajo un cambio de sistema de referencia.
- Analizar la fuerza que actúa sobre una partícula cargada que se mueve con respecto a un cable por el que fluye una corriente continua desde el punto de vista relativista.
- Identificar la transformación de fuerzas de un sistema de referencia a otro.

**Invariancia de la Carga** Como vimos la carga eléctrica total en un sistema aislado nunca varía, esta ley es válida para sistemas cargados en reposo, pero, ¿qué ocurre cuando el sistema está en movimiento con respecto a un determinado sistema de referencia?, pues bien, la carga total en un sistema no varía por el movimiento de los portadores de carga. La invariancia de la carga es de vital importancia en el hecho de cuantización de la carga. La conservación de la carga implica que si tomamos una superficie cerrada fija en algún sistema coordenado, conteniendo materia cargada y si las partículas no atraviesan el contorno, entonces la carga total en el interior de esta superficie permanece constante, además si consideramos este conjunto de materia desde cualquier otro sistema de referencia mediremos exactamente la misma cantidad de carga; por otro lado, la carga es una magnitud escalar invariante con respecto a las transformaciones de Lorentz, si se considera un alambre de longitud  $L$  por el que circula corriente, como portador de carga y este, está en movimiento, desde la relatividad se observa que su longitud se contrae en la dirección del movimiento, sin embargo, a pesar de dicha contracción la carga se mantiene constante. Como vemos en la figura B.12, si consideramos la cantidad de carga como el número de puntos en el interior del cilindro, este es el mismo número cuando la longitud del cilindro es menor debido a su estado de movimiento.

**Cálculo Relativista de la Fuerza** Podemos continuar con nuestro ejercicio ya sabiendo el cambio en la longitud del alambre en  $S'$  y como esta contribuye a la determinación de la fuerza que buscamos, para ello es importante analizar que ocurre con las cargas *al interior* del alambre. La partícula en  $S$  lleva la misma velocidad que las cargas que se mueven en el alambre generando corriente eléctrica (electrones), mientras las cargas positivas (iones) permanecen en reposo, utilizamos la figura B.13 para ver

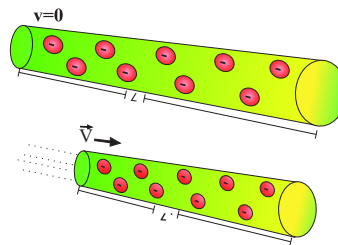


Figura B.12: La cantidad de carga nunca varía y es independiente del estado de movimiento del portador de carga.

que la distancia entre ion e ion es constante e igual a la distancia entre electron y electron,<sup>5</sup> sin embargo, en el sistema  $S'$ , la partícula y los electrones en el alambre están en reposo y son ahora los iones los que están en movimiento, cabe preguntarse ¿qué ocurre con la distancia de ion a ion?, la respuesta es: se contrae. Como consecuencia de esto, el alambre aparece cargado en  $S'$ , ya que los iones están más próximos entre sí que los electrones y la densidad de carga positiva es mayor, es decir, el alambre está cargado positivamente, como la carga es invariante entonces:

$$\begin{aligned} q &= q' \\ \rho_0 L_0 A &= \rho L A \\ \frac{\rho_0 L}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} &= \rho L \\ \frac{\rho_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} &= \rho \end{aligned}$$

*La densidad de carga de una distribución de cargas en movimiento varía en la misma forma que la masa de una partícula cuando esta en movimiento, pues esta cantidad tampoco es absoluta en relatividad espe-*

<sup>5</sup>En realidad esta no es la organización interna de las partículas en el interior del alambre, la figura se presenta de esta forma para simplificar el análisis.

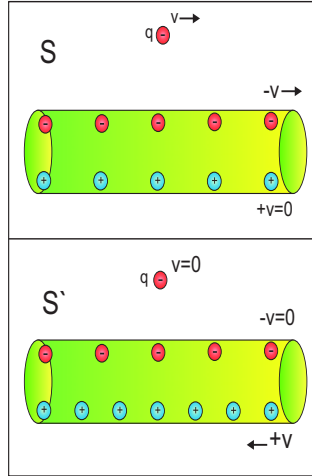


Figura B.13: En  $S'$  la distancia entre ión e ión se contrae debido al estado de movimiento del alambre.

cial.

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (\text{B.21})$$

En  $S$  las cargas positivas están en reposo o sea que la densidad impropia de carga positiva en este sistema es:

$$\frac{\rho_+}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \rho'_+$$

Por su parte en  $S'$  las cargas negativas están en reposo por lo que la densidad de carga negativa impropia es:

$$\frac{\rho'_-}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \rho_-$$

La densidad de carga total en  $S$  esta expresada por la ecuación 2 y en  $S'$  sera dada por la ecuación 3.

$$\rho = \rho_+ + \rho_- \quad (\text{B.22})$$

$$\rho' = \rho'_+ + \rho'_- \quad (\text{B.23})$$

Ahora podemos expresar la densidad de carga en el sistema  $S'$  en términos de la densidad de carga positiva en el sistema  $S$ :

$$\begin{aligned} \rho' &= \frac{\rho_+}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} + \rho_- \sqrt{1 - v^2/c^2} \\ \rho' &= \frac{\rho_+ + \rho_- (1 - v^2/c^2)}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \\ \rho' &= \frac{[\rho_+ + \rho_-] - [\rho_- (v^2/c^2)]}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \\ \rho_- &= -\rho_+ \\ \rho' &= \frac{\rho_+ - \rho_+ + \rho_+ (v^2/c^2)}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \\ \rho' &= \frac{\rho_+ (v^2/c^2)}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \end{aligned} \quad (\text{B.24})$$

Sabemos que el campo eléctrico a una distancia  $r$  del cilindro en  $S'$  es:

$$E' = \frac{\rho' A}{2\pi\epsilon_0 r}$$

Ahora podemos calcular la fuerza eléctrica en el sistema  $S'$ .

$$\begin{aligned} F' &= qE' \\ F' &= \frac{q}{2\pi\epsilon_0} \frac{\rho_+ A}{r} \frac{v^2/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \end{aligned} \quad (\text{B.25})$$

Ya tenemos las expresiones de la fuerza en ambos sistemas de referencia, veámoslas con detenimiento:

$$F = \frac{q}{\epsilon_0 c^2} \frac{v^2 \rho_- A}{2\pi r} \quad F' = \frac{q}{2\pi\epsilon_0} \frac{\rho_+ A}{r} \frac{v^2/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

para darnos cuenta de que podemos expresar una en términos de la otra, es decir hay una correspondencia entre las fuerzas:

$$F' = \frac{F}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (\text{B.26})$$

La ecuación 6 expresa la transformación de la fuerza de un sistema de referencia a otro que se mueve con velocidad relativa respecto al primero, vemos que la intensidad de las fuerzas son casi iguales desde los

dos puntos de vista y para pequeñas velocidades con respecto a  $c$  son iguales, **lo que en un marco de referencia parece ser un campo magnético en el otro es un campo eléctrico, esta es la relatividad de los campos eléctrico y magnético**, además sabiendo que la fuerza se puede transformar de un sistema de referencia a otro las dos formas de ver el fenómeno conducen al mismo resultado físico para cualquier velocidad.

### Ejercicios

- En un filamento de nylon de  $0,0001m$  de diámetro y  $0,04m$  de longitud la densidad de carga es  $2,6 \times 10^{-1} C/m^3$ , teniendo en cuenta que  $E = \frac{\rho A}{2\pi\epsilon_0 r}$  en un sistema en reposo y que  $E' = \frac{\rho' A}{2\pi\epsilon_0 r}$  en un sistema en movimiento, determina la intensidad de campo eléctrico a  $0,01m$  del filamento.
    - En la referencia en reposo del filamento.
    - En la referencia en la cual el filamento se mueve con una celeridad de  $0,9c$  en una dirección paralela a su longitud.
    - Expresa la relación entre  $E$ ,  $E'$  y  $\gamma$ .
  - Según la teoría especial de la relatividad ¿la masa, el tiempo y la longitud son medidas absolutas e invariantes bajo un cambio de coordenadas?
  - Observa detenidamente la ecuación (1). ¿La masa de un objeto es mayor o menor cuando éste está en movimiento?
- Ingresa a la animación de la página web y obsérvala detenidamente, luego responde:
- ¿Por qué en el sistema de referencia  $S'$  no hay una fuerza magnética actuando sobre la partícula en movimiento?
  - ¿Por qué aparece cargado el cable en  $S'$  si es neutro en  $S$ ?
  - ¿Por qué varía la densidad de carga de un objeto cargado en movimiento visto desde un sistema de referencia en reposo?
  - ¿Qué pasaría si la partícula se moviera a una velocidad mayor que la de los electrones en el cable?
  - Si te ubicas en uno de los iones en el cable. ¿La forma de la partícula en movimiento sigue siendo esférica? ¿La forma de la partícula sigue siendo esférica si la observamos desde uno de los electrones en el cable?
  - ¿Cómo se relaciona la fuerza en  $S$  con la fuerza en  $S'$ ? ¿Cómo interpretas esta relación?
  - Explique con sus palabras la frase de A. Einstein que aparece al final de la animación
- Ingresa a la simulación de la página web, realiza los siguientes ejercicios y contesta las preguntas.
- ¿Cuáles son la fuerza magnética  $F$  y la fuerza eléctrica  $F'$  que actúan sobre un electrón que se mueve paralelo al cable con la misma velocidad de arrastre de los electrones en éste? para los siguiente casos:
    - Un cable con densidad de carga  $3,25 \times 10^{10} C/m^3$  de diámetro  $2,05 \times 10^{-3} m$ , con velocidad de arrastre  $5,6 \times 10^{-2} m/s$  cuando la partícula está a  $0,02m$  del cable.
    - Un cable con densidad de carga  $1,34 \times 10^{10} C/m^3$  de diámetro  $2,05 \times 10^{-3} m$ , con velocidad de arrastre  $2,7 \times 10^{-4} m/s$  cuando

la partícula está a  $0,7m$  del cable.

- c) Un cable con área  $3,14 \times 10^{-8} m^2$ , con velocidad de arrastre igual a 1 y densidad de carga  $1,34 \times 10^{10}$  cuando la partícula está a:  $0,01m$ ,  $0,05m$ ,  $0,1m$ .

2. Efectúa los mismos cálculos para

- a) un protón,
- b) un pión y
- c) un muón

en movimiento con respecto al cable y explica en cada caso si la fuerza es de atracción o de repulsión.

3. ¿Cómo influye el signo de la carga en la fuerza resultante en los dos sistemas de referencia?

4. Analiza que ocurre si se invierte la dirección de la velocidad de la partícula que se mueve con respecto al cable

5. ¿Por qué no puedes ver la partícula cuando le das valores a la velocidad del orden de  $\times 10^7$ , es decir muy cercanas a la velocidad de la luz?

6. ¿Por qué  $F'$  se indetermina si la velocidad de la partícula que se mueve con respecto al cable es igual o mayor a la velocidad de la luz?

7. ¿Cómo influye la magnitud de  $r$  en la fuerza resultante en los dos sistemas de referencia?

# Anexo C

## Pruebas de conocimiento

### C.1. Prueba Diagnóstico

Nombre:

Código:

Semestre:

Marque con una x los conceptos a cerca de los cuales tiene conocimiento.

- Campo Eléctrico.
- Campo Magnético.
- Fuerza de Lorentz.
- Densidad de Carga.
- Carga Eléctrica.
- Ley de Ampere.
- Ley de Faraday.
- Ley de Gauss.
- Ley de Maxwell.
- Fuerza Eléctrica.
- Sistema de Referencia.
- Relatividad.

Estimado estudiante, las siguientes preguntas son de opción multiple con única respuesta, por favor seleccione solo la respuesta que considere correcta.

1. Considere dos partículas con cargas  $Q$  y  $-Q$ . La fuerza eléctrica que ejerce la partícula con carga  $Q$  sobre la partícula con carga  $-Q$  separada una distancia  $d$ , estará dada por la ecuación:

a)  $\mathbf{F} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{-QQ}{d^2} \hat{\mathbf{e}}$

b)  $\mathbf{F} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{-QQ}{d} \hat{\mathbf{e}}$

c)  $\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{-QQ}{d^2} \hat{\mathbf{e}}$

d) No sabe.

2. La intensidad de campo eléctrico se define como:

a)  $\mathbf{E} = \mathbf{F}/q_0$ .

b)  $\mathbf{E} = (\mathbf{F})(q_0)$

c)  $\mathbf{E} = \mathbf{F}/q_0 * r^2$ .



- d) No sabe.
3. Si una partícula cargada que se desplaza con una velocidad  $\mathbf{v}$  es desviada de su trayectoria es porque seguramente sobre ella actuó una fuerza ejercida por:
- Un campo eléctrico.
  - Un campo magnético.
  - Otra partícula cargada.
  - Todas las anteriores.
4. La fuerza magnética que ejerce un campo magnético ( $\mathbf{B}$ ) sobre una partícula con carga ( $q$ ) que se desplaza con una velocidad ( $\mathbf{v}$ ) en sus cercanías, está dada por la ecuación:
- $\mathbf{F} = q \times \mathbf{B}$ .
  - $\mathbf{F} = \mathbf{v} \times \mathbf{B}$ .
  - $\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ .
  - No sabe.
5. Según la ley de Ampere:
- Las variaciones del flujo de campo eléctrico generan campos magnéticos.
  - La variación de campo magnético a través de una espira induce una corriente.
  - El flujo magnético a través de una superficie cerrada es cero.
  - No sabe.
6. Considere una esfera de radio  $0 \leq r \leq 1$  que posee una carga  $Q$  y se encuentra en reposo. Al cabo de un tiempo  $t$  la esfera se pone en movimiento y viaja a una velocidad  $0,8c$  (donde  $c$  es la velocidad de la luz), si la temperatura de la esfera aumenta debido al rozamiento de esta con el medio, la carga de la esfera:
- Aumenta con la temperatura.
  - Aumenta con la velocidad.
  - Se mantiene constante.
  - No sabe.
7. En mecánica clásica, la longitud, la masa y el tiempo son cantidades
- Absolutas, es decir no varían con el cambio de sistema de referencia.
  - Variantes, cambian de acuerdo al sistema de referencia donde se midan.
  - El tiempo es la única cantidad que se mantiene constante bajo un cambio de sistema de referencia.
  - No sabe.
8. ¿Considera que la frase *La carga eléctrica total en un sistema aislado nunca varía* es verdadera?:
- Si.
  - No.
  - Depende de las condiciones del sistema.
9. El flujo eléctrico ( $\Phi_E$ ) a través de una superficie cerrada es igual a:
- 0.
  - $q/\epsilon_o$ .
  - $\epsilon_o/q$ .
  - No sabe.
10. Considere que la frase *El flujo magnético a través de una superficie cerrada es cero* es:
- Verdadera.
  - Falsa.
  - No sabe.
11. Considere que la frase *La longitud de un objeto cambia si éste está en movimiento a una velocidad cercana a la de la luz* es:

- a) Verdadera.  
b) Falsa.  
c) No sabe.
12. Considera que la frase *La masa de un objeto se conserva aún cuando éste se encuentre en movimiento a una gran velocidad* es:
- a) Verdadera.  
b) Falsa.  
c) No sabe.
13. Teniendo en cuenta el principio de acción y reacción (tercera ley de Newton) imagine una partícula que se mueve con respecto a un cable por el que circula una corriente. ¿Considera usted que la fuerza que el cable ejerce sobre la partícula es igual a la fuerza que ejerce la partícula sobre el cable?
- a) Si.  
b) No.  
c) No sabe.
14. Teniendo en cuenta la pregunta anterior considera usted que la fuerza ejercida es de naturaleza:
- a) Eléctrica.  
b) Magnética.  
c) Depende del sistema de referencia desde donde se analice.  
d) No sabe.

## C.2. Prueba Intermedia

Nombre:

Código:

Semestre:

Relacione las tres columnas y escriba bajo cada ley el orden correcto, ej: 3, f), 5).

1. Fuerza Magnética.	a. El flujo eléctrico a través de una superficie cerrada es proporcional a la carga total encerrada.	1. $\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0$
2. Ley de Faraday.	b. La magnitud de cada una de las fuerzas eléctricas con que interactúan dos cargas puntuales es directamente proporcional al producto de las cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa.	2. $\mathbf{F} = q_0 \mathbf{v} \times \mathbf{B}$
3. Ley de Gauss para el magnetismo.	c. Si una carga positiva de prueba $q_0$ que se mueve con una velocidad $v$ es desviada por una fuerza $F$ en un punto $P$ , entonces hay una inducción magnética $B$ en el punto $P$ .	3. $\epsilon_0 \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = q$
4. Ley de Gauss.	d. La variación del flujo de campo magnético a través de una espira induce una corriente.	4. $\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{d\phi_B}{dt}$
5. Ley de Coulomb.	e. El flujo magnético a través de una superficie cerrada es cero.	5. $\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 i$
6. Ley de Ampere.	f. Las corrientes eléctricas así como las variaciones del flujo de campo eléctrico generan campos magnéticos.	6. $F = k \frac{ q_1 q_2 }{r^2}$

Estimado estudiante, las siguientes preguntas son de opción múltiple con única respuesta, por favor seleccione solo la respuesta que considere correcta.

1. ¿Cuál es la razón por la que un imán induce un campo magnético?:
    - a) Porque el magnetismo es una propiedad inherente al imán.
    - b) Porque en un imán el movimiento de cargas se encuentra en el movimiento de los electrones que lo conforman y este movimiento induce un campo magnético.
    - c) Porque está electrificado negativamente.
  
  2. Según la ley de Ampere:
    - a) Las variaciones del flujo de campo eléctrico generan campos magnéticos.
    - b) La variación de campo magnético a través de una espira induce una corriente.
    - c) El flujo magnético a través de una superficie cerrada es cero.
    - d) No sabe.
  
  3. Este cascarón encierra una carga de 20 C. El cubo está aislado. La carga encerrada por el cascarón:
    - a) Está ubicada en el centro del interior del cubo como una carga puntual.
    - b) Se mueve a la superficie exterior del cubo ya que éste es un conductor aislado.
    - c) Se mueve a la superficie exterior del cubo.
    - d) No sabe.
  
  4. En el cubo, la densidad de carga volumétrica es:
    - a)  $20000C/m^3$ .
    - b)  $2000C/m^2$ .
    - c) No hay densidad de carga volumétrica.
  
  5. La densidad de carga superficial en una de las caras del cubo es:
    - a)  $0,3C/m^3$ .
    - b)  $33C/m^2$ .
    - c)  $333,3C/m^2$ .
  
  6. La densidad de carga superficial en el cubo es:
    - a)  $333,3C/m^2$ .
    - b)  $200C/m^2$ .
    - c)  $20000C/m^3$ .
- Responda las preguntas 3 a 6 teniendo en cuenta la siguiente información: La arista de un cascarón de cobre en forma de cubo mide 0.1 m,

## C.3. Prueba Final

Nombre:

Código:

Semestre:

Estimado estudiante, las siguientes preguntas son de opción múltiple con única respuesta, por favor seleccione solo la respuesta que considere correcta.

1. Un sistema de referencia es:
  - a) Un sistema de coordenadas espacio-tiempo en cuyo origen se supone situado un observador con respecto al cual se determina la posición de diferentes puntos del espacio.
  - b) Un sistema de coordenadas  $x$ ,  $y$ ,  $z$  donde se ubica un observador para medir la longitud de los objetos.
  - c) Un sistema donde el observador ve las cosas a su manera.
  - b) Existe un sistema de referencia respecto al cual se puede medir cualquier movimiento.
  - c) Las leyes de Newton no son válidas.
2. El principio de relatividad clásica dice:
  - a) La velocidad de la luz es constante para cualquier sistema de referencia.
  - b) Todas las leyes de la naturaleza deben ser las mismas para todos los observadores que se mueven los unos con respecto a los otros a velocidad constante.
  - c) La longitud de los objetos en movimiento se contrae.
  4. Completa la frase: El coeficiente de Lorentz es importante porque:
    - a) Explica el electromagnetismo en su totalidad.
    - b) Permite describir las leyes de la física en sistemas de referencia que se mueven los unos con respecto a los otros a velocidades cercanas a la velocidad de la luz  $c$ .
    - c) Describe la contracción de la longitud.
    - d) No sabe.
3. El principio clásico de relatividad tuvo dificultades porque:
  - a) Las ecuaciones de Maxwell no son invariantes bajo las transformaciones de Galileo.
  5. El valor del coeficiente de Lorentz es:
    - a)  $\sqrt{1 - v^2/c^2}$ .
    - b)  $\frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ .
    - c)  $1 - \sqrt{1 - v^2/c^2}$ .
6. La constancia de la velocidad de la luz:
  - a) Fue propuesta por Galileo.
  - b) Es irrelevante para la teoría especial de la relatividad..

- c) Es el segundo postulado de la teoría especial de la relatividad.
7. Estas son las consecuencias de las transformaciones de Lorentz para objetos que se mueven a velocidades cercanas a la velocidad de la luz  $c$ .
- a) El tiempo se contrae, la longitud se dilata y la masa disminuye.
- b) El tiempo, la longitud y la masa son cantidades absolutas y nunca varían.
- c) El tiempo se dilata, la longitud se contrae y la masa aumenta.
8. La longitud propia:
- a) Es la longitud del objeto en reposo.
- b) Es la longitud del objeto en movimiento.
- c) No existe.
9. La longitud impropia:
- a) Es la longitud del objeto en reposo.
- b) Es la longitud del objeto en movimiento.
- c) No existe.
10. La longitud de un objeto en movimiento:
- a) Se contrae en la dirección del movimiento.
- b) Se contrae perpendicularmente al movimiento.
- c) No se contrae.
11. Sabiendo que la longitud propia de un objeto en movimiento se contrae, la expresión correcta para describir esto es:
- a)  $L_0 = \gamma L$ .
- b)  $\gamma L_0 = L$ .
- c)  $\gamma L_0 = \gamma L$ .
- Las preguntas 12 a 18 debe responderlas en base al ejemplo trabajado en clase.
12. En el sistema de referencia del cable la fuerza que actúa sobre la partícula es:
- a) Magnética.
- b) Eléctrica.
- c) Electromagnética.
13. Efectuando el cálculo clásico de la fuerza que actúa sobre la partícula en cada sistema de referencia se llega a una contradicción porque:
- a) Las fuerzas en los dos sistemas son iguales.
- b) En un sistema de referencia la fuerza toma un valor y en el otros sistema de referencia es cero cuando deberían ser iguales.
- c) La fuerza debe ser menor para el sistema de referencia partícula.
14. En el sistema de referencia partícula la fuerza que actúa sobre ésta es:
- a) Eléctrica.
- b) Magnética.
- c) Electromagnética.
15. El campo eléctrico en el cable en el sistema de referencia de la partícula aparece porque:
- a) La contracción en la distancia entre ión e ión aumenta la densidad de carga positiva.

- b) Los iones están en reposo.
- c) No aparece campo eléctrico.
16. Cuando un objeto se encuentra en movimiento su densidad de carga:
- a) Aumenta.
- b) Disminuye.
- c) Se mantiene constante.
17. La relación entre las fuerzas en cada sistema de referencia es:
- a)  $F = \frac{F'}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$
- b)  $F' = \frac{F}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$
- c)  $F = F' \sqrt{1-v^2/c^2}$
18. La relatividad de los campos eléctrico y magnético en este ejemplo se evidencia porque:
- a) Campo eléctrico y magnético son iguales.
- b) Lo que en un sistema de referencia parece ser un campo magnético en el otro sistema de referencia es un campo eléctrico.
- c) Campo eléctrico y magnético son diferentes.