

ANÁLISIS DEL TRATAMIENTO DE CONTENIDOS DE FÍSICA PRESENTES EN LIBROS DE TEXTO UNIVERSITARIOS DE USO FRECUENTE EN LAS CARRERAS DE GRADO QUE OFRECE LA UNIVERSIDAD¹

Norah Giacosa²; Jorge López³; Norma Godoy⁴; Jorge Maidana⁵; Alejandro Such⁶

¹ Trabajo de Investigación Código CAID 2011: 50120110100098LI

² Directora de Proyecto, Prof, norahgiacosa@gmail.com

³ Integrante de Proyecto, Ing Mecánico, lopezj@fio.unam.edu.ar

⁴ Integrante de Proyecto, Prof, normaegodoy@gmail.com

⁵ Integrante de Proyecto, Prof, jamaigms@gmail.com

⁶ Integrante de Proyecto, Prof, alejandrosuch89@gmail.com

Resumen

Se resalta la dificultad que presenta la enseñanza y aprendizaje del concepto de aceleración centrípeta. Se presenta mediante una breve reseña histórica el concepto de aceleración centrípeta y centrífuga. Se transcribe el tratamiento del concepto por diferentes libros de texto. Se resalta la importancia del concepto de marco de referencia inercial.

Palabras Clave: *Aceleración centrípeta – Aceleración centrífuga – Marco de referencia*

Introducción

El ser humano desde su niñez va incorporando en forma intuitiva los fenómenos físicos mediante la interacción cotidiana cuyo dominio es fundamental para realizar actividades sociales, deportivas y profesionales a los cuales en la etapa de escolarización se les asigna un nombre científico, se los vincula a una ley o principio y, de ser posible, se los reproduce en el laboratorio asociándolos con una ecuación matemática. Es tendencia muy común en los alumnos el utilizar las fórmulas en las clases prácticas de resolución de problemas rutinarios o para aprobar exámenes.

El inconveniente aparece más adelante al momento de tener que relacionar lo aprendido con conceptos nuevos para lo cual se requiere una actitud diferente para estudiarlos y para comprenderlos mediante procesos cognitivos más exigentes.

Este trabajo pretende abordar la modalidad de desarrollo del concepto de aceleración centrípeta desde sus orígenes hasta los textos utilizados el ciclo básico de las carreras de ingeniería realizando una comparación entre los diferentes textos clásicos.

Para el estudio se adopta como marco teórico el que sustentan Solaz-Portolés y Moreno-Cabo (2008) que de acuerdo a estos autores es posible analizar los libros de texto desde un punto de vista psicológico-didáctico examinando una serie de variables que afectan la comprensión lectora.

Asimismo, se acepta que los libros de texto de Física son bilingües en el sentido de utilizar alternativamente un sistema lingüístico (expresiones verbales) y un sistema simbólico (ecuaciones, gráficos, esquemas y diagramas) entre los cuales el lector debe desplazarse para lograr una adecuada comprensión lectora (Giacosa et al., 2014).

Charles Holbrow (1999) indica que los libros de texto introductorios de Física son documentos históricos que reflejan la pedagogía de la época en la que fueron escritos. De allí que estima importante analizar su evolución cuya revisión comience con el texto de Adolphe Ganot (2003) hasta llegar a los que se utilizan en gran medida en los ciclos básicos de las carreras de ingeniería.

La obra de Halliday y Resnick preservaría la organización tradicional de la Física introductoria, elevaría el nivel de abstracción, realizaría descripciones más conceptuales,

acentuaría los principios, haría hincapié en la modernidad de la Física y daría menos importancia a algunos tópicos (Meltzer y Otero, 2015). Este libro, se convertiría en el “patriarca” de una familia de libros de Física General editados en el año 1960.

El término fuerza centrípeta fue creado por Newton en honor a Huygens como resultado del pedido que le hiciera Hooke para que “estudiara las propiedades de la curva descrita por un cuerpo sometido a un poder atractivo central que lo desviara de su movimiento inercial a lo largo de la tangente, cuando la intensidad de la fuerza variaba en proporción inversa al cuadrado de las distancias. Hooke tuvo que recurrir a Newton porque carecía de la capacidad y los conocimientos matemáticos” (Casadela Reig et al 1985 p.219).

En 1609 Johannes Kepler publica su obra denominada *Astronomia nova* donde presenta las dos primeras leyes que llevan su nombre, la referida a la elipticidad de las órbitas y a la que se conoce como igualdad de las áreas barridas en tiempos iguales por segmentos que unen los planetas con el Sol.

Partiendo de este conocimiento Newton en el *Philosophiæ naturalis principia mathematica*, editado el 5 de julio de 1687 define la aceleración centrípeta utilizando la segunda ley de Kepler logrando vincular de esta manera los problemas dinámicos con los geométricos “puesto que la ley de las áreas es equivalente a la existencia misma de una fuerza centrípeta dirigida hacia un punto del espacio, respecto del cual se verifica la ley, incluso determinable si no fuera conocido” (Casadela Reig et al op cit. p. 220).

Este concepto presentó grandes dificultades para su comprensión por la mayoría de los filósofos de aquella época al igual que hoy ya que la aceleración centrípeta es uno de los que peor se aprenden en los estudios de Física a niveles elementales quedando en estado de confusión permanente, en la mayoría de los casos, al no haber ocasión de profundizar en cuestiones de Física a otros niveles (Casadella Reig et al. op cit.). En algo más de quinientas hojas del Principia, los conceptos allí vertidos no resultaban asequibles a la mayoría de los filósofos de la época por lo que en la introducción de la obra, “Newton declara que buena parte de sus proposiciones son difíciles de seguir y plantea unas guías de lectura para que el lector poco hábil en matemáticas pueda entender las proposiciones básicas donde se explica la acción de una fuerza centrípeta que actúa en proporción inversa al cuadrado de la distancia”. (Molina Betancur, 2014).

Aunque Newton “no calificaba de vectores a las fuerzas, es evidente que tenía en cuenta el carácter direccional de su actuación. Para él una fuerza aplicada sobre un cuerpo le añadía movimiento continuamente en la dirección y sentido particulares en la línea de actuación de dicha fuerza. Este movimiento se debía componer con el propio del cuerpo (el que éste poseía y que mantenía de acuerdo con la ley de inercia). El movimiento resultante era la diagonal del paralelogramo formado a partir de ambos movimientos. Darse cuenta de esto comporta un nivel de comprensión superior a la composición de fuerzas aplicadas sobre sistemas en equilibrio o estáticos, mientras que añade un nuevo sentido a la ley de inercia”. Casadela Reig (op.cit., p.224).

Otra dificultad es el concepto de fuerza o aceleración centrífuga, ya que en su presentación tanto por los docentes como en algunos libros de texto no se hace hincapié en la importancia que tiene el concepto de marco de referencia necesario para su diferenciación. En el libro de Adolphe Ganot (2003) se presenta el concepto de fuerza centrífuga expresando: que “la tercera causa que modifica la intensidad de la gravedad, es la fuerza centrífuga. Tal es el nombre que se da a la fuerza que se desarrolla por el movimiento circular, y en virtud de la cual las masas animadas de este movimiento tienden a alejarse del eje de rotación.”

El término “fuerza centrífuga” aparece en el tratado *Horologium Oscillatorium* escrito en el año 1673 por Christiaan Huygens quien sostiene que es originada por el movimiento

curvilíneo de los planetas que los alejaría del Sol a menos que este lo retuviera por alguna otra fuerza.

El libro de texto Fishbane (1993) realiza una presentación del concepto de marco de referencia inercial mediante ejemplos reales y, cuando no lo son, recalca que *“cualquier fuerza que pueda ver el observador en aceleración, es una fuerza ficticia, que también se llama pseudofuerza, o fuerza no inercial. Este tipo de fuerza extraño, es bastante distinto al de las fuerzas que hemos descrito hasta ahora, que se deben a influencias externas. Las fuerzas reales tienen un origen o agente identificable, y no se deben al movimiento del observador.”* (Fishbane op. cit., p.105)

En el libro Sears (2009) la deducción de la aceleración centrípeta es similar a otros textos utilizados en el ciclo básico universitario variando solo en el formato, el cual ha incorporado diferentes colores para los vectores a fin de diferenciarlos entre sí y no hace más que resaltar la importancia de la intervención del docente en la enseñanza cuando resalta que *“los ejemplos resueltos ahora incorporan bocetos en blanco y negro para centrar a los estudiantes en esta etapa crítica: aquella que, según las investigaciones, los estudiantes tienden a saltar si se ilustra con figuras muy elaboradas”* resaltando que *“el poder que tienen figuras en la enseñanza fue enriquecido con el empleo de la técnica de 'anotaciones', probada por las investigaciones para guiar al estudiante en la interpretación de esta y por el uso apropiado del color y del detalle”*. (Sears et all. op cit. p. xi)

Finalmente sostiene que “dos décadas de investigaciones en la enseñanza de la física han sacado a la luz cierto número de errores conceptuales comunes entre los estudiantes de física principiantes”.

Al referirse al marco referencial este libro de texto lo define como un observador “equipado en principio con un metro y un cronometro. Así, un marco de referencia es un sistema de coordenadas mas una escala de tiempo.” (Sears et all. op cit. p. 91) y su presentación la realiza utilizando como ejemplo situaciones reales y posibles de reproducir lo que favorece la fijación del concepto mediante un modelo mental funcional.

El error conceptual respecto a la “fuerza centrífuga” lo resalta con un esquema donde presenta dos diagramas de cuerpo libre, uno correcto y otro que comúnmente lo realizan en forma errónea los estudiantes. La justificación de la inexistencia de dicha fuerza la realiza mediante tres razones concretas y lapidariamente enfatiza: “no volveremos a mencionar este término, y le recomendamos no usarlo nunca”. (Sears et all. op cit. p. 159).

Respecto al tratamiento de esta pseudofuerza en la literatura del nivel medio, libros como Miguel (1959) presentan errores conceptuales que han sobrevivido hasta el presente. Concretamente en el desarrollo del movimiento circular uniforme mediante el ejemplo de una piedra girando atada al extremo de una sogá realizando la pregunta *“¿Por qué se puso tensa la sogá? Pues porque, como consecuencia del principio de acción y reacción, ha surgido otra fuerza, de igual intensidad y de sentido contrario a la centrípeta, que denominaremos fuerza centrífuga. En todo movimiento circular uniforme se originan dos fuerzas:*

- a) *Fuerza centrípeta, que tiene dirección y sentido hacia el centro de rotación;*
- b) *Fuerza centrífuga, que es la resultante de la existencia de la fuerza centrípeta”.* (Miguel

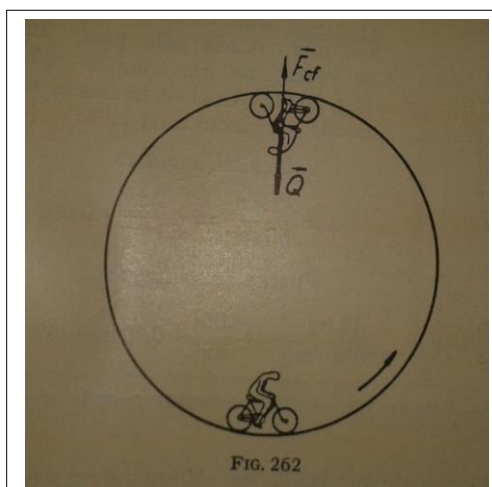


FIGURA 1: Diagrama de cuerpo libre del libro Donato di Pietro de la página 283.

p.142)

Otro libro que ha tratado el concepto de aceleración centrípeta es el Di Pietro (1967) realizando su deducción en forma vectorial al igual que los utilizados en el nivel superior. No así lo concerniente a la pseudofuerza a la cual le dedica el capítulo XXIV expresando que *“la fuerza aplicada al cuerpo es, así, la fuerza centrípeta. Es la fuerza impuesta por el vínculo al cuerpo móvil. Este, a su vez, reacciona sobre el vínculo con una igual y contraria tirando del hilo hacia afuera. Esta fuerza se llama fuerza centrífuga”* (Di Pietro p. 282).

Más adelante en los ejemplos resueltos presenta el esquema de un ciclista efectuando un “looping” que se muestra en la FIGURA 1. El fenómeno físico experimentado por el ciclista se justifica porque “gracias exclusivamente a la fuerza centrífuga es posible efectuar el llamado giro de la muerte. Para no caer debe verificarse en valor absoluto $F_{cf} > Q$ o por lo menos igual” (Di Pietro op.cit. p.283).

Metodología

Este estudio, de naturaleza descriptiva, se realizó mediante la recopilación documental y el análisis de contenido (Ander-Egg, 2003) comparando el enfoque utilizado por los textos de aquella época con los utilizados actualmente en lo que hace a la deducción de la expresión de aceleración centrípeta. Además se resaltarán las dificultades conceptuales con las que se enfrenta un lector que no posee consolidados los conocimientos previos ya sea debido a los términos y nomenclatura utilizada para definir y presentar el concepto como así también la explicación que se presenta tanto en forma textual como mediante gráficos y esquemas.

Resultados y Discusión

El valor del razonamiento de Newton fue relacionar la regla del paralelogramo, formulada por el matemático holandés Simón Stevin que fuera utilizada para la composición de fuerzas, aplicada al concepto de cantidad de movimiento.

Para lograr una curva continua es necesario aplicar impulsos transversales en intervalos de tiempo cada vez más pequeños con una dirección tal que deberá estar dirigida hacia el centro de curvatura de la trayectoria sin utilizar el concepto de vectores ya que estos aparecerían posteriormente definidos por William Hamilton a mediados del Siglo XIX.

Aquí se presenta un inconveniente conceptual al desarrollar las clases teóricas y prácticas ya que, al no definir previa y exhaustivamente el concepto de marco de referencia inercial, la intuición impulsa a creer en una fuerza que interactúe hacia afuera y se plasma en los diagramas de cuerpo libre de algunos libros de texto donde se trata el movimiento circular. De hecho la segunda ley de Newton no resulta funcional impidiendo el normal desarrollo de los ejercicios de lápiz y papel.

En la mayoría de los textos del ciclo básico el concepto de aceleración centrípeta se presenta matemáticamente y mediante un desarrollo netamente vectorial.

Conclusiones

De lo expuesto se puede concluir que la presentación del concepto de aceleración centrípeta es similar en los libros de texto utilizados en los primeros años del nivel universitario.

La historia de los libros de texto del nivel medio ha condicionado a una generación de alumnos en lo que respecta al concepto de “aceleración centrífuga” y las contradicciones en las que se incurren al iniciar el estudio de la física promueven conocimientos erróneos que son muy difíciles de erradicar.

Como se rescata en algunos libros de texto modernos, la forma de presentación de los conceptos físicos se asemeja a la modalidad con la que el docente los desarrolla por lo que

su desempeño en el aula resulta fundamental para fijar conceptos en forma correcta y desactivar los erróneos mediante las correspondientes explicaciones y ejemplos correctos. Es por ello que se debe promover el incremento y la mejora de la producción editorial nacional de acuerdo a lo que indica la ley nacional de fomento del libro. En la UNaM se recomiendan mayoritariamente textos de autores extranjeros, escritos originalmente en idioma inglés y traducidos, con posterioridad, al español con una gran cantidad de hojas que no necesariamente agregan calidad conceptual.

De los libros recomendados en el ciclo básico de las carreras de ingeniería la mayoría de ellos no realiza una introducción histórica de cómo se dedujo la expresión de la aceleración centrípeta ni se resalta el concepto de marco de referencia para interpretarla presentando en algunos libros de texto del nivel medio ejemplos y expresiones erróneas de este último.

Referencias

Ander-Egg, E. (2010) *Métodos y Técnicas de investigación social*, Vol. III: *Cómo organizar el trabajo de investigación* España: Lumen.

Casadela Reig et al (1985). *Enseñanza de las Ciencias*, p. 220

Di Pietro D. (1967). *Mecánica Técnica*. Ed Alsina. Buenos Aires.

Fishbane, P.; Gasiorowicz S y Thornton, S. (1993) *Física para ciencias e ingeniería Vol 1* Prentice Hall Mexico.

Ganot A. (2003) *Tratado elemental de Física*. <http://biblioteca.org.ar/libros/89778.pdf>

Giacosa, N.; Zang, C., Galeano, R. y Such, A. (2014) *Oscilaciones electromagnéticas forzadas: análisis del sistema simbólico y lingüístico empleado en libros de texto universitarios*. *Revista de Enseñanza de la Física*. Vol. 26. Nº extra: 131-144. En < <http://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/9744/10482> > Acceso: 12/2014.

Holbrow, C. (1999) *Archaeology of a bookstack: some major introductory physics texts of last 150 years*. *Physics Today*, 52 (3): 50-56.

Meltzer, D. ; Otero. V. (2015) *A brief history of physics education in the United States*. *American Journal of Physics*, 83 (5): 447-458.

Miguel, C. (1959) *Elementos de Física y Química*. Ed Troquel. Argentina.

Molina Betancur, S (2014) *La metodología de Newton y la demostración de la realidad de la fuerza*. G.I. Conocimiento, Filosofía, Ciencia, Historia y Sociedad Instituto de Filosofía Universidad de Antioquia Medellín, Colombia

Newton I. (1987). *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural*. Escohotado, A. (Trad.). Barcelona:Tecnos.

Sears, W.; Zemansky, M.; Young, H. y Freedman, R. (2009) *Física Universitaria*. Vol. 1. Pearson Educación. Mexico

Solaz-Portolés y Moreno-Cabo (2008) *Algunas pautas y consideraciones para aprender de un texto educativo de ciencias*. En <www.eumed.net/libros/2008c/467/> Acceso 04/2015. Alonso, M. y Finn, E. (1986) *Volumen I: Mecánica* Addison-Wesley Iberoamericana.