

La complejidad de las simplificaciones en la enseñanza de la Mecánica en el ciclo inicial universitario: el caso del tratamiento de las poleas en libros de texto⁺

Silvia María Giorgi¹

Cristina Noemí Cámara²

Luis Alberto Marino³

Ricardo Antonio Carreri⁴

Universidad Nacional del Litoral

Santa Fe – Argentina

Resumen

Se presenta un estudio sobre libros de texto de Mecánica de uso generalizado en cursos de Física del ciclo inicial universitario de carreras científico-tecnológicas dictadas en universidades de habla hispana. A través de un análisis de contenido se investigó por un lado, sobre las explicaciones dadas por los autores de los libros acerca de las hipótesis “simplificadoras” que se adoptan para abordar el estudio del comportamiento de las poleas en los temas iniciales de Mecánica, consistentes en considerarlas de masa despreciable y sin rozamiento; y por otro, si esas hipótesis son retomadas en el estudio de Sólidos en rotación. Se sostiene que si bien en la enseñanza se introducen hipótesis simplificadoras que facilitarían la comprensión de los fenómenos físicos por parte de los estudiantes, éstas no siempre resultan claras a los mismos, conllevando a obstaculizar, más que simplificar, la conceptualización aplicada al comportamiento de sistemas físicos cuando estudian a partir de libros de texto. Se advierten cuestiones que resultarían provechosas para los docentes.

⁺ The complexity of simplifications in the teaching of Mechanics at the university initial cycle: the case of the treatment of pulleys in textbooks

^{*} *Recebido: dezembro de 2016.*

Aceito: maio de 2017.

¹ E-mail: sgiorgi@fiq.unl.edu.ar

² E-mail: ccamara@fiq.unl.edu.ar

³ E-mail: lmario@fiq.unl.edu.ar

⁴ E-mail: ccarreri@fiq.unl.edu.ar

Palabras-chave: *Libros de Texto; Física Mecánica; Ciclo Inicial Universitario; Poleas; Hipótesis Simplificadoras.*

Abstract

We present a study on mechanics textbooks widely used in physics courses of the university initial cycle of scientific and technological careers that form part of Spanish-speaking universities. Through a content analysis, we investigated the explanations given by the authors of the textbooks about the "simplifying" hypotheses adopted to address the study of the behavior of pulleys in the initial mechanics topics. Those consist in considering pulleys massless and frictionless. On the other hand, we analyzed if these assumptions are reconsidered in the study of solids in rotation. We concluded that, although simplifying assumptions are included in teaching to facilitate the understanding of physics phenomena by students, they are not always clarifying, leading to hinder, rather than simplify, the conceptualization applied to the behavior of physical systems when they study from textbooks. Issues that could be useful to teachers are warned.

Keywords: *Textbooks; Mechanics; University Initial Cycle; Pulleys; Simplifying Hypotheses.*

I. Introducción

En este trabajo se presenta un estudio sobre el tratamiento, que realizan diversos autores de libros de Física, de contenidos relacionados a la Mecánica, que son empleados en la enseñanza en el ciclo inicial de carreras científico tecnológicas de un gran número de universidades latinoamericanas.

Es frecuente, al abordar las leyes de Newton, presentar situaciones problemáticas sobre cuerpos sujetos a cuerdas relacionados a través de poleas. Si bien se espera que, realizando hipótesis simplificadoras, el estudio de estos sistemas sea más sencillo para los estudiantes, se sostiene que si no se realizan las aclaraciones necesarias derivadas de dichas hipótesis aplicadas al comportamiento de los mismos, más que facilitar, pueden generar dificultades conceptuales a los alumnos para establecer nexos entre el comportamiento real del sistema en estudio y el modelo que se construye del mismo.

Se planteó investigar si el tratamiento que presentan los autores de los libros de texto (LT) que figuran en la bibliografía recomendada en cursos de Física Introductoria de las hipótesis que se formulan en la enseñanza para estudiar el comportamiento de las poleas en particu-

lar, formando parte de mecanismos sencillos, promueve en los estudiantes el aprendizaje significativo de conceptos y relaciones. Para ello se propuso indagar si en los libros de Física se explican adecuadamente las consecuencias físicas derivadas de suponer a las poleas con masa despreciable y sin rozamiento, cuando se abordan contenidos de la Dinámica de partículas. También, se investigó si en los capítulos posteriores, en el tratamiento de los Sólidos en rotación, se recuperan de alguna manera las simplificaciones realizadas en los ejemplos resueltos en los que intervienen poleas en los temas introductorios.

Se presentan resultados obtenidos mediante un análisis de contenido (BARDIN, 1996) de los capítulos correspondientes a Dinámica y Energía de sistemas físicos considerados como puntuales y como distribuciones de masa, en libros de Física que presentan desarrollos matemáticos que involucran cálculo diferencial e integral al menos en una variable. Se analizan los LT cuyos autores se referencian en la bibliografía recomendada en los cursos de Física introductoria de carreras científico-tecnológicas, que son de uso generalizado en universidades de habla hispana.

Se encontró que en algunos de los LT, los autores no explicitan debidamente las simplificaciones que proponen para facilitar el estudio de sistemas en los que intervienen poleas, siendo que las mismas forman parte de un número apreciable de ejemplos y problemas desarrollados en los mismos, y abordados tradicionalmente en la enseñanza. Es así, que los estudiantes que estudian a partir de LT, pueden enfrentarse a dificultades cuando intentan trasladar algunos conceptos y relaciones, a la resolución de problemas, o a situaciones experimentales.

Generalmente, en los LT, en los primeros capítulos de Mecánica, se modela a la polea como un sistema físico de masa despreciable y sin rozamiento en su eje de rotación. La pregunta que se pretende contestar en este trabajo es: ¿Son tratadas adecuadamente en los LT las consecuencias físicas derivadas de estas suposiciones?

En las actividades prácticas en las que intervienen poleas, por ejemplo en el estudio de la máquina de Atwood, o en experiencias en el riel de aire, los estudiantes observan que las poleas, por más pequeñas y livianas que sean, adquieren movimiento de rotación acompañando al hilo en su periferia. Entonces, se sostiene que en los temas introductorios, no es inmediato para los estudiantes establecer nexos entre lo que observan y lo que plantean al abordar situaciones problemáticas en la que intervienen poleas, si no se pone el merecido cuidado en las explicaciones sobre las simplificaciones que se realizan.

A partir del análisis de los resultados que se presentan en este trabajo, surgen consideraciones sobre el significado poco claro que los estudiantes podrían construir acerca del comportamiento de sistemas en los que intervienen poleas, a los que aplican las leyes y relaciones que estudian en los temas introductorios de Mecánica, cuando basan su aprendizaje en los LT que se analizan.

II. Marco teórico y objetivos

Los LT de ciencias resultan imprescindibles en educación, por lo tanto los docentes comprometidos con su labor deberían hacer una adecuada selección de los mismos para orientar y favorecer en los estudiantes los procesos de aprendizaje. Se sostiene que para lograr ese objetivo resulta necesario un trabajo de investigación sistemático acerca de estos recursos desde el punto de vista didáctico.

Formando parte de las estrategias didácticas que diseñan, los docentes pueden recomendar materiales de estudio a los estudiantes. Entre los mismos se encuentran los LT, los cuales constituyen una herramienta fundamental.

Actualmente existe una inmensa oferta de materiales educativos de fácil acceso en Internet, no obstante la calidad de los mismos no siempre está probada (BOUCIGUEZ; SANTOS, 2010). Contrariamente, los LT son recursos sometidos a rigurosas revisiones antes de ser comercializados por lo que se considera que aún constituyen las herramientas más confiables para aprender ciencias (OTERO, 1990). Sin embargo, tal como lo mencionan otros investigadores, las explicaciones que los autores de los LT presentan son a veces un tanto arbitrarias, lo que puede derivar en perjuicio de la conceptualización de los fenómenos físicos por parte de estudiantes que inician estudios de Física.

Marino *et al.* (2016), en su trabajo sobre once LT con cálculo, investigaron si en los mismos se explican adecuadamente las consecuencias físicas que se derivan de suponer las cuerdas que forman parte de sistemas físicos como inextensibles y de masa despreciable, encontrando que pocos autores lo llevan a cabo. En otro trabajo, Marino *et al.* (2015) encontraron que en el tratamiento del movimiento oscilatorio armónico la frecuencia angular es presentada ambiguamente. Por un lado, como una magnitud que depende de características de la acción restauradora e inerciales del sistema, y por otro, como la velocidad angular de un movimiento circular uniforme que se proyecta sobre un eje cartesiano. Giacosa *et al.* (2013) en su estudio sobre el tratamiento de circuitos resistivo-inductivos en doce LT, encontraron que en la mayoría de los mismos el modelado de los circuitos como sistemas aislados se hace de manera implícita. Por su parte, Forjan y Sliško (2014) realizaron un estudio sobre tres LT de Física de escuela secundaria, desde la perspectiva de las simplificaciones e idealizaciones en el campo de la Mecánica, encontrando que más de la mitad de las simplificaciones analizadas no son presentadas correctamente. En su investigación acerca del tratamiento que se da a la corriente de desplazamiento en LT, Pocoví y Hoyos (2011), encontraron que las explicaciones verbales presentadas son en su mayoría carentes de precisión y confusas. En un trabajo sobre LT de secundaria en los que se abordan contenidos sobre Ciencias de la Tierra, King (2010) señala que es probable que el origen de los errores que cometen los estudiantes universitarios y los profesores de ciencias, pueden verse reforzados a partir de los materiales publicados en los que a menudo dichos errores se encuentran presentes. Por su parte, en un trabajo sobre LT usados por alumnos para el aprendizaje del tema inducción electromagnética, Catalán *et al.* (2009) recomiendan que en los mismos se expliciten con mayor claridad las condiciones de trabajo o límites de validez de

los modelos científicos que se presentan y se insiste en la decodificación de las distintas representaciones simbólicas que los expresan.

Teniendo en cuenta lo anterior, se considera que es importante profundizar en el análisis de la presentación de los contenidos, por parte de los autores de los LT, que se recomiendan a los estudiantes. Se sostiene que esto debería ser esencial no sólo para que los docentes hagan una concienzuda selección de los materiales de apoyo que proponen, sino también para que tengan en cuenta los contenidos que deberían reforzar en sus clases, a través de distintas estrategias, si buscan que el alumno aprenda significativamente. La estructuración de verdaderos ambientes de aprendizaje con el uso de materiales adecuados requiere de marcos referenciales sustentados desde los campos disciplinar y de la didáctica en permanente retro-alimentación.

En un trabajo anterior (GIORGI *et al.*, 2013) se realizó un relevamiento de los libros recomendados en los planes de estudio de cursos de Física de carreras científico tecnológicas, clasificándolos según el nivel de tratamiento matemático con el que se abordan los temas. En esta presentación se profundiza el estudio de los libros con cálculo, es decir, libros en los que se desarrollan los contenidos haciendo uso de cálculo diferencial e integral al menos en una variable.

En este trabajo se plantean los siguientes objetivos con relación a los LT:

- Detectar los capítulos de libros de Mecánica en los que se presentan situaciones a modo de ejemplos, ejercicios y problemas propuestos, sobre sistemas físicos en los que intervienen poleas.

- Identificar si los autores formulan hipótesis para el estudio de las poleas.

- En los casos en los que los autores explicitan hipótesis, identificar si se mencionan, de alguna manera, las consecuencias físicas derivadas de las mismas.

- Indagar, en los capítulos correspondientes a Dinámica y Energía de sólidos, si se recuperan los significados físicos de las hipótesis simplificadoras realizadas en los primeros temas.

- Analizar si en los problemas propuestos que involucran poleas, los autores mencionan lineamientos sobre las hipótesis simplificadoras a realizar.

Se parte de la siguiente hipótesis de investigación: las explicaciones de las simplificaciones que se realizan en la enseñanza de la Física introductoria para abordar el estudio de las poleas son presentadas, por los autores de algunos LT de Mecánica, de manera insuficiente y a veces confusa para los estudiantes.

III. Metodología

Se trabajó con una muestra intencional de once (11) LT. Se seleccionaron los libros de Mecánica de nivel universitario básico con cálculo, teniendo en cuenta los autores que se men-

cionan en Giorgi 1 *et al.* (2013). Los LT se muestran ordenados alfabéticamente según el apellido del primer autor y se codificaron con la letra T seguida del número de orden alfabético. Los mismos se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Libros de texto que conforman la muestra.

T1	ALONSO, M. Y FINN, E. Física . México: Addison Wesley Iberoamericana, 1986.
T2	BUECHE, F. Física para estudiantes de Ciencias e Ingeniería , cuarta edición. México: McGraw Hill, 1992.
T3	CUSSÓ, F.; LÓPEZ, C. Y VILLAR, R. Física de los procesos biológicos . Barcelona: Ariel, 2004.
T4	GETTYS, W.; KELLER, F. Y SKOVE, M. Física Clásica y Moderna . Madrid: McGraw Hill, 1991.
T5	INGARD, U. Y KRAUSHAAR, W. Introducción al estudio de la mecánica, materia y ondas . Argentina: Reverté, 1984.
T6	MCKELVEY, J. Y GROTCHE, H. Física para ciencias e ingeniería; Volumen 1 . México: Harla, 1980.
T7	RESNICK, R.; HALLIDAY, D. Y KRANE, K. Física, volumen I . México: CECSA, 2006.
T8	ROEDERER, J. Mecánica elemental . Argentina: Eudeba, 2011.
T9	SEARS, F.; ZEMANSKY, M.; YOUNG, H. Y FREDMAN, R. Física universitaria, volumen 1, decimosegunda edición . México: Pearson Educación, 2009.
T10	SERWAY, R. Y JEWETT, J. Física para ciencias e ingeniería , volumen 1, séptima edición. México: Cengage Learning, 2008.
T11	TIPLER, P. Y MOSCA, G. Física para la ciencia y la tecnología , volumen 1, quinta edición. Barcelona: Reverté, 2005.

La metodología que se consideró más adecuada para lograr los propósitos de este estudio se encuadra en el paradigma de la investigación cualitativa (SAMAJA, 1994). Se llevó a cabo un estudio de casos (CONCARI, 2002). En el contexto de los cursos de Física introductoria de carreras científico tecnológicas ofrecidas por la Universidad Nacional del Litoral se abordó la bibliografía con cálculo recomendada en los programas analíticos de los cursos de Mecánica introductoria (GIORGI *et al.*; op. cit.). Las unidades de análisis estuvieron conformadas por los LT que se muestran en la Tabla 1. Cada uno de los LT se desagregó, en las unidades de análisis correspondientes a los capítulos relativos a Dinámica y Energía de sistemas físicos puntuales y de sistemas de varias partículas, o Sólidos en rotación. Se realizó un análisis de contenido (BARDIN, 1996) del texto escrito (párrafos) y de las figuras presentes en estos capítulos detectándose las situaciones sobre sistemas físicos, de los que forman parte poleas que presentarían variación de sus estados movimiento, es decir que se acelerarían angularmente

desde el punto de vista dinámico, y desde el punto de vista energético variarían su energía cinética de rotación. En los capítulos dedicados a Dinámica y Energía de sistemas físicos puntuales se indagaron, en las circunstancias que involucran poleas, los párrafos dedicados a desarrollos teóricos, los enunciados y desarrollos de los problemas resueltos y los enunciados de los problemas propuestos, acerca de la explicitación textual de la suposición de polea de masa despreciable y de la ausencia de rozamiento. Con relación a los problemas propuestos se contabilizó por un lado, el número de los mismos en los que se explicitan estas hipótesis simplificadas y por otro, el número total de problemas en los que intervienen poleas.

En los capítulos dedicados a Dinámica y Energía de sistemas físicos puntuales y de Sólidos en rotación, se investigó si se aclara que el rozamiento es despreciable específicamente en el eje de rotación de la polea, y si se menciona que el hilo no desliza en la periferia de la misma. También, en estos capítulos se investigó si se explicitan verbalmente las consecuencias físicas de considerar a la polea de masa despreciable.

En los capítulos dedicados a Sólidos en rotación se investigó si se retoma el estudio dinámico y/o energético de la polea, pero ahora considerada como una distribución masa.

La metodología descrita permitió cumplir con los objetivos planteados obteniéndose los resultados que se muestran en los párrafos siguientes.

IV. Resultados y análisis

Para cada LT analizado, en la Tabla 2 se muestra el/los capítulos en los que se presentan situaciones en las que intervienen poleas, y el/los capítulos de Dinámica y/o Energía de la partícula en los que se explicitan las simplificaciones de polea de masa despreciable y sin rozamiento.

De la lectura de la Tabla 2 se desprende que en todos los LT analizados se presentan, en los capítulos dedicados a Dinámica y/o Energía de la partícula, situaciones sobre sistemas físicos que involucran poleas, ya sea en ejemplos o ejercicios resueltos como en problemas propuestos.

En los capítulos sobre Dinámica de la partícula se explicita que las poleas se consideran como sistemas de masa despreciable y con fricción despreciable, en la gran mayoría de los LT analizados (8/11). Sin embargo, estas idealizaciones no siempre son adecuadamente tratadas en los mismos.

En T3 se presentan algunos ejemplos en los que se dibujan las tensiones a ambos lados de las poleas representadas por flechas que se designan con la misma letra, lo que estaría indicando implícitamente que la función de la polea es la de cambiar la dirección de la tensión en los extremos de la cuerda, pero esto no se relaciona con el hecho de que la masa de la polea se considera despreciable.

En T4 se señala: *“Suponer que la polea gira libremente y que su masa es suficientemente pequeña como para poder despreciar los efectos de su rotación, esto es, el único efecto de la polea es el cambio que se produce en la dirección de la cuerda. Consecuentemente la*

tensión es la misma en toda la cuerda, y los módulos de las fuerzas ejercidas por la cuerda sobre la carretilla y sobre el bloque son ambos iguales a la tensión” (T4, p. 105).

En T7 se aborda a través del problema resuelto número 5-5 (p. 93) el estudio de la máquina de Atwood. En el enunciado se menciona “... una cuerda que pasa por una polea ideal (cuya masa es despreciable y que gira con una fricción también despreciable), como se aprecia en la figura 5.9.”. En la solución se menciona: “Si la cuerda carece de masa y no se estira, y si la polea también carece de masa y no tiene fricción, la tensión tendrá la misma magnitud en toda la cuerda, y las magnitudes de la aceleración de los bloques serán iguales. (La polea ideal no altera la magnitud de la tensión ni la aceleración de uno a otro lado de la cuerda; su única función consiste en modificar las direcciones.)”. En el problema resuelto número 5-6 (p. 94) se vuelve a mencionar: “Si la cuerda tiene masa despreciable, y si la polea es ideal (sin fricción y de masa insignificante, la magnitud de las fuerzas de tensión T_1 y T_2 son iguales... Si la cuerda no se estira, la magnitud de la aceleración de los bloques será igual...” (p. 94). En el problema resuelto número 5-7 (p. 95), se destaca: “Como en los ejemplos anteriores, esperamos que la tensión tenga un valor común y que el movimiento vertical de m_2 y el que se da en el plano de m_1 , puedan ser descritos por aceleraciones de la misma magnitud”.

Tabla 2: Capítulos dedicados a Mecánica de la partícula en los que se presentan situaciones que involucran poleas y aspectos relacionados a las hipótesis simplificadoras explicitados por los autores.

Capítulos dedicados a Dinámica y Energía de la partícula			
Texto	Se presentan situaciones en las que intervienen poleas en los capítulos relacionados con:	Se menciona la suposición de polea de masa despreciable en los capítulos relacionados con:	Se explicita la suposición de polea sin rozamiento en los capítulos relacionados con:
T1	Dinámica	Dinámica	Dinámica
T2	Dinámica y Energía	Energía	Energía
T3	Dinámica	Dinámica	Dinámica
T4	Dinámica y Energía	Dinámica	Dinámica
T5	Dinámica y Energía	Dinámica	Energía
T6	Dinámica y Energía	Dinámica y Energía	Dinámica y Energía
T7	Dinámica	Dinámica	Dinámica
T8	Energía	Energía	Energía
T9	Dinámica y Energía	Dinámica y Energía	Dinámica y Energía
T10	Dinámica	Dinámica	Dinámica
T11	Dinámica y Energía	Dinámica y Energía	Dinámica y Energía

En T9, en el ejemplo 5.13 (p. 170) se aclara que el cordel es “*ligero, flexible e inelástico*”, y que pasa por una “*pequeña polea sin fricción*”. En el planteo se menciona: “*No hay fricción en la polea (no se aclara si se refiere a la fricción en el eje o entre el hilo y la periferia de la polea) y consideramos que el cordel no tiene masa, así que la tensión T en el cordel es homogénea: aplica una fuerza de magnitud T a cada cuerpo*”. Se aclara: “*Podría ser conveniente repasar el ejemplo conceptual 4.10 de la sección 4.5, donde vimos la fuerza de tensión ejercida por un cordel sin masa*”. Se encontró que en ese ejemplo (p. 141) se presenta el diagrama del cuerpo libre de una cuerda sin masa señalando que por esta condición, la suma de las fuerzas ejercidas sobre la misma es nula. Es decir, se atribuye que las tensiones son iguales al hecho de que la masa del hilo es despreciable, y no hay fricción en la polea, sin aclararse cuáles son las superficies entre las que no hay fricción. No se hace mención al significado físico del hecho de que la masa de la polea sea despreciable. No se describe el comportamiento de la polea.

En T10, en el ejemplo 5.9 (p. 116), titulado: Máquina de Atwood, se señala que la polea es sin fricción de masa despreciable. En el diagrama 5.14 (p. 117) se representa a las tensiones en la cuerda a ambos lados de la polea con la misma letra. En el desarrollo del ejemplo 5.9 se aclara: “*En problemas como este, con una polea que se representa sin masa y sin fricción, la tensión en la cuerda sobre ambos lados de la polea es la misma. Si la polea tiene masa o es dependiente de la fricción, las tensiones en cualquier lado no son las mismas y la situación requiere técnicas que se aprenderán en el capítulo 10.*”

En T11-Capítulo 4: Leyes de Newton, en el ítem 4.7: Problemas con dos o más objetos (p. 95) se plantea, el caso de dos personas tomadas de una cuerda, una de ellas apoyada en la superficie inclinada de un glaciar sosteniendo, a través de una cuerda que pasa por el borde del glaciar, a otra persona que cuelga verticalmente (Fig. 1).

Se aísla la cuerda mostrando las tensiones que ejercen las personas en los extremos (Fig. 2) y las fuerzas que ejercen secciones de hielo del borde redondeado del glaciar; se señala: “*Despreciar cualquier rozamiento entre el hielo y la cuerda significa que la fuerza ejercida por el hielo siempre es una fuerza normal (véase la figura 4.23) -p. 96- (Fig. 3), y una fuerza normal nunca tiene una componente a lo largo de la cuerda, por lo que no puede pro-*

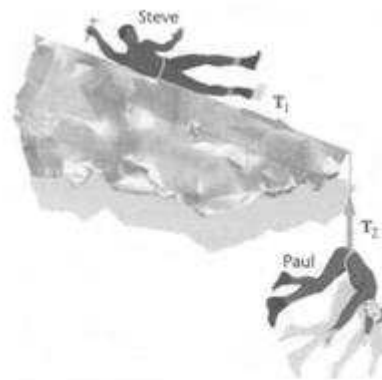


Fig. 1: Copia de la Figura 4.21 (T 11, p. 95)

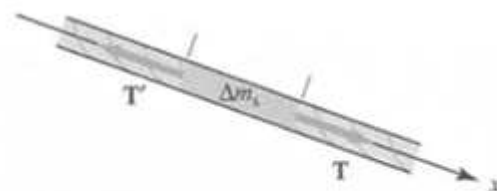


Fig. 2: Copia de la Figura 4.22 (T 11, p. 96)

ducir ningún cambio en la tensión. Así, la tensión es la misma en toda la cuerda. En resumen, si la cuerda de masa despreciable cambia de dirección pasando por una superficie sin rozamiento, la tensión es la misma en toda la cuerda”.

Por otro lado, en la misma página se propone como ejercicio el caso de una cuerda que pasa por una “...polea que tiene unos cojinetes que no ejercen rozamiento, como se muestra en la figura 4.24. ¿La tensión será la misma a lo largo de toda la cuerda? (Respuesta. No. Una cosa es que no haya rozamiento entre los cojinetes y la polea, pero otra cosa es que la polea tenga masa, es decir, inercia. Para cambiar la velocidad de rotación de la polea se necesita una diferencia de tensión.)” -p. 96-.

Se sostiene que estas dos situaciones abordadas por los autores son de alto valor didáctico para que los estudiantes comprendan cómo se comportarían las poleas según el modelo físico que se adopte para describirlas.

Sólo en 2/11 LT (T2 y T8) se explicitan las simplificaciones estudiadas en los capítulos dedicados a Energía de la partícula. En T8 se lo hace en el Capítulo 4: Teoremas de conservación, en el desarrollo detallado de un ejemplo desde los puntos de vista dinámico y energético (pág. 147).

Por su parte, en T5 se menciona la suposición de polea de masa despreciable en los capítulos relacionados con Dinámica, y la suposición de rozamiento despreciable en el tema relacionado con Energía de la partícula.

Se destacan T6, T9 y T11 explicitando ambas consideraciones tanto en los capítulos dedicados a Dinámica, como en los dedicados a Energía de la partícula. Sin embargo, en T9 se retoma el sistema del ejemplo 5.13 (p. 170) en los problemas propuestos 6.82 y 6.83 (p. 238), y se vuelve a aclarar: “...la cuerda y la polea tienen masa despreciables, y la polea no tiene fricción...”, sin mencionar las superficies entre las cuales la fricción es despreciable.

También, en el abordaje de sistemas físicos puntuales, se analizaron los enunciados de los problemas propuestos para que resuelvan los estudiantes. Se contabilizó el número total (NT) de problemas que involucran situaciones físicas en las que intervienen poleas, que sufrirían cambios en sus estados de movimiento, y la cantidad de problemas en los que en sus enunciados se hacen menciones acerca de cómo modelar a las mismas para resolverlos (N). Es decir, si se menciona que la masa, o inercia de la polea, y la fricción, son despreciables. Los resultados se sintetizan en la Tabla 3, en la que se muestra la relación N/NT discriminada por tema: Dinámica y Energía. Además, se mencionan ejemplos acerca de los lineamientos explicitados por los autores.

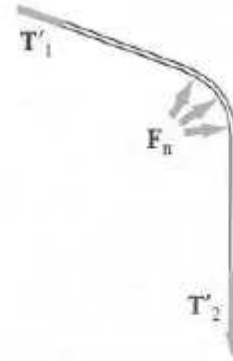


Fig. 3: Copia de la Figura 4.23 (T 11, p. 96)

Tabla 3: Relación entre el número de problemas en cuyos enunciados los autores explicitan hipótesis simplificadoras para las poleas (N) y el número total de problemas que involucran poleas (NT) por tema relacionado a Mecánica de la partícula; e hipótesis simplificadoras explícitas en los enunciados de problemas propuestos.

Texto	N/NT	Hipótesis simplificadoras para las poleas explicitadas por los autores en los enunciados de los problemas propuestos
T1	Dinámica: 2/9	<i>Peso despreciable y fricción nula.</i>
	Energía: 0/0	---
T2	Dinámica: 0/6	---
	Energía: 1/2	<i>Ignore la masa y la fricción de la polea.</i>
T3	Dinámica: 1/1	<i>Polea sin masa ni rozamiento apreciable.</i>
	Energía: 0/0	---
T4	Dinámica: 10/10	<i>En un problema se solicita describir las suposiciones que se hacen para resolverlo. Se hacen aclaraciones sobre la masa y el rozamiento en la polea y se menciona que el único efecto de la polea es el cambio de dirección. Se pueden despreciar la masa y el rozamiento de la polea así como la masa de la cuerda. Despreciar los efectos de rotación.</i>
	Energía: 0/2	---
T5	Dinámica: 3/3	<i>Sin massa. Peso despreciable.</i>
	Energía: 1/1	<i>Sólo se aclara que la polea es sin rozamiento.</i>
T6	Dinámica: 7/16	<i>No hay fricción en la polea. o La masa es despreciable.</i>
	Energía: 2/6	<i>La masa y la resistencia friccional de la polea son despreciables.</i>
T7	Dinámica: 2/5	<i>Polea pequena.</i>
	Energía: 0/0	---
T8	---	---
T9	Dinámica: 10/13	<i>La polea: es pequeña y sin fricción, no tiene fricción ni masa, es ligera y sin fricción, los pesos de las poleas son despreciables.</i>

	Energía: 4/4	<i>La cuerda y la polea tienen masa despreciable y la polea no tiene fricción. Haga caso omiso de la fricción y la inercia de la polea.</i>
T10	Dinámica: 10/12	<i>Una polea que se representa sin masa y sin fricción.</i>
	Energía: 4/5	<i>Las poleas no poseen masa ni presentan fricción al rotar.</i>
T11	Dinámica: 9/16	<i>Las poleas carecen de rozamiento y su masa es despreciable.</i>
	Energía: 3/9	<i>En la polea no hay rozamiento y su masa es despreciable.</i>

De la Tabla 3 se desprende que en la mayoría de los LT los autores ponen énfasis en los problemas propuestos, sobre lineamientos para modelar las poleas en los temas relacionados con Dinámica de la partícula. Esto se considera apropiado con el fin de que los estudiantes, por un lado, presten atención a las consideraciones que hacen al resolver problemas, y por otro, despierten su interés acerca de la actividad de modelado de sistemas físicos y de la comprensión de las consecuencias físicas que se derivan de los modelos que adoptan.

Se destacan T4, T9 y T10 por la abundancia de problemas propuestos y la elevada frecuencia con la que se explicitan consideraciones acerca de cómo modelar a las poleas; mientras que otros autores, como los de T6 y T11, proponen un número destacable de problemas que involucran poleas, pero sólo explicitan dichas consideraciones en aproximadamente la mitad de los mismos. Se sospecha que estos últimos autores intentan, a través de los problemas propuestos, promover en los estudiantes la adopción de criterios para modelar sistemas físicos. Se señala que en T1 se propone un número considerable de este tipo de problemas, pero en pocos de los mismos se explicitan las simplificaciones necesarias para resolverlos. Por su parte, en T5 se mencionan lineamientos sobre cómo modelar a las poleas en los enunciados de los tres problemas que involucran dicho dispositivo.

Con respecto al tema Energía se observa menor cantidad de problemas propuestos. Se destacan T9 y T10, por explicitar también en este tema, consideraciones acerca del modelado de las poleas, haciéndolo con un criterio similar al usado en Dinámica. En T11 también se oferta un número considerable de problemas, pero con una frecuencia menor de explicitación de lineamientos acerca de cómo considerar a las poleas en los enunciados.

Por otro lado, también para cada LT, se identificó si los autores al abordar a la polea, realizan aclaraciones relacionadas con la consideración del rozamiento despreciable (o no) específicamente en el eje de rotación de la misma, y con el hecho de que el hilo no deslice en la periferia de la polea, en los capítulos dedicados a Dinámica y Energía de la partícula, y en los relacionados con Sólidos en rotación. En la Tabla 4 se muestran los resultados encontrados.

Tabla 4: Aspectos relacionados a las simplificaciones sobre el comportamiento de las poleas.

Texto	Capítulos del texto dedicados a: Dinámica y Energía de la partícula y Sólidos en rotación	
	Se aclara que el rozamiento es despreciable en el eje de rotación	Se menciona que el hilo no desliza en la polea en el tema Sólidos en rotación
T1	Sí, en Dinámica de la partícula	No
T2	No	No
T3	No	No
T4	Sí, en Sólidos en rotación	Sí
T5	No	No
T6	Sí, en Sólidos en rotación	No
T7	Sí, en Sólidos en rotación	Sí
T8	No	No
T9	Sí, en Sólidos en rotación	Sí
T10	Sí, en Sólidos en rotación	Sí
T11	Sí, en Sólidos en rotación	Sí

De la lectura de la tabla se desprende que la mayoría de los autores (7/11) aclara que la fricción es despreciable específicamente en el eje de la polea, lo cual se considera adecuado de manera de evitar ambigüedades. Sólo uno de los LT analizados, T1, lo adelanta en los capítulos relacionados con Dinámica de la partícula mencionando el posterior análisis de esta simplificación en el capítulo dedicado a Sólidos en rotación. En el resto de los LT se lo hace en los capítulos relacionados con Sólidos en rotación.

Se estudió también si los autores dan explicaciones acerca de las consecuencias físicas derivadas de las simplificaciones realizadas sobre las poleas. Los resultados se muestran en la Tabla 5.

Con relación a la aclaración acerca de que el hilo no desliza en la polea, cuando se tratan Sólidos en rotación, se encontró que la omiten 6/11 de los autores, lo cual puede resultar confuso y/o ambiguo para los estudiantes.

En T4 -Capítulo 13: Rotación II-, es de destacar que en el ejercicio 13.18 (p. 336) se aborda la máquina de Atwood y, si bien ahora se señala que específicamente se desprecia el rozamiento entre la polea y su eje, y la masa de la cuerda, y además se supone que la cuerda no desliza sobre la polea, no se aprovecha la oportunidad para retomar las consideraciones consistentes en despreciar la masa y tamaño de la polea realizadas en los temas anteriores en los que se estudió el mismo sistema físico. Algo similar ocurre con el ejercicio 13.19 de la misma página.

Tabla 5: Aspectos relacionados al tratamiento de las poleas en los libros de texto analizados.

Texto	Capítulos del texto dedicados a:	
	Dinámica y energía de la partícula	Sólidos en rotación
	Se explica el significado físico de considerar la polea de masa despreciable	Se retoma el caso de la polea con masa no despreciable
T1	No	No
T2	No	No
T3	No	No
T4	Sí, en los capítulos relacionados con Dinámica	No
T5	No	No
T6	Sí, en los capítulos relacionados con Dinámica	Sí
T7	Sí	Sí
T8	No	No
T9	Sí	Sí
T10	Sí	Sí
T11	Sí	Sí

En T8 se omite esta aclaración en la única situación que se presenta en la que interviene una polea, consistente en un análisis, didáctico y detallado, desde ambos puntos de vista: dinámico y energético, del caso de dos personas que intentan ganar altura trepando de una cuerda que pasa por una polea de inercia despreciable (pág. 147).

Sólo dos autores prestan especial atención a la fricción entre el hilo y la periferia de la polea: los de T11 explican este fenómeno detalladamente, con ecuaciones matemáticas, en el enunciado de un problema propuesto; mientras que los de T7 lo hacen a través de un problema propuesto que aconsejan resolver con cálculo integral.

Con respecto a considerar la masa de la polea despreciable, los autores de T7, T10 y T11 dan explicaciones al desarrollar los temas relacionados con Dinámica y Energía de la partícula; mientras que los de T4 y T6 lo hacen sólo en los capítulos relacionados con Dinámica. En T9 se justifica que las tensiones son iguales a ambos lados de la polea, sólo al hecho de que la masa del hilo es despreciable.

En T10 se remite a capítulos posteriores: *“Si la polea tiene masa o es dependiente de la fricción, las tensiones en cualquier lado no son las mismas y la situación requiere técnicas que se aprenderán en el capítulo 10.”* (T10, pág. 117); en el ejemplo número 10.22 (pág. 290) se aborda la máquina de Atwood con polea de inercia no despreciable y sin fricción en el eje de rotación.

Con respecto a la recuperación del caso de la polea con masa no despreciable al tratar los temas relacionados con Sólidos en rotación, se encontró que pocos autores aprovechan la oportunidad para aclarar las simplificaciones que propusieron para modelar a las poleas en los temas iniciales, cuando abordan, dinámicamente o energéticamente, el estudio de Sólidos en rotación,

instancia en la que los estudiantes cuentan con más herramientas de análisis que pueden aplicar para describir el comportamiento de estos dispositivos.

Al respecto se destacan, porque lo hacen con detalle, los autores de: T6, T7 y T10. Cabe aclarar que en T11 y T9 lo hacen llamando cilindro a lo que en Mecánica de la partícula llamaban polea, y retoman la máquina de Atwood con inercia no despreciable en un problema propuesto.

Es de destacar, aunque los sistemas en equilibrio escapan a los propósitos de este estudio, que en T6 se aborda el sistema físico compuesto por un cuerpo que descansa sobre una superficie plana sin fricción, y que se encuentra sujeto a un extremo de un hilo que pasa por una polea, o rueda, y de cuyo otro extremo cuelga otro cuerpo que cae verticalmente. Se analizan las fuerzas actuantes y se dibuja el diagrama del cuerpo libre para cada parte del sistema por separado “... la tensión en la cuerda se representa por los vectores T , que actúa en la dirección horizontal x sobre el objeto soportado (apoyado), y T' que actúa en la dirección vertical y sobre el objeto suspendido. Si se desprecia el peso de la cuerda (como se hará), la magnitud de T' es igual a la de T . La polea sólo sirve para cambiar la dirección en que actúa la tensión, y de ninguna manera altera su magnitud.”¹⁵. En el pie de la página número 37 se aclara “¹⁵: Este enunciado sólo es verdad en la medida en que no existan efectos de fricción y de inercia relacionados con la polea, de manera que siempre se supondrá que así sucede, a menos que se exprese lo contrario. En un capítulo posterior se analizarán en detalle los efectos de inercia que surgen cuando es muy pesada la parte rotatoria de la polea”.

Con relación a la máquina de Atwood, en T6 se señala que “...se volverá a estudiar el aparato descrito en el ejemplo 4.3.7 (debería decir: 4.2.7 -p. 129-) que se emplea para determinar con exactitud la aceleración de la gravedad”. Se menciona: “En el análisis anterior, se supuso que la polea no tenía fricción ni inercia rotacional apreciable. Ahora se estudiará este problema nuevamente todavía sin tomar en cuenta la fricción, pero incluyendo el efecto de la inercia rotacional de la polea, y comparando los nuevos resultados con los que se obtuvieron antes, para determinar cómo influiría esto en la práctica.”. En las páginas número 257 y 258 los autores indican aclaraciones que se consideran de gran valor desde el punto didáctico: “El lector se preguntará por qué en el análisis anterior de este dispositivo (en el ejemplo 4.3.7) se supuso que las tensiones T y T' , mostradas en la figura 7.6b. eran iguales, en tanto que ahora se supone que tienen valores distintos. La explicación es que antes se consideró (al menos tácitamente) que la polea no tenía inercia rotacional. Con esta suposición no se necesita un momento de rotación neto para cambiar la velocidad angular de la polea, y se puede impartir una aceleración angular a la misma mediante el movimiento lineal de las masas, aunque las tensiones iguales en las dos ramas de la cuerda no den lugar a un momento de rotación neto sobre la polea. Se considera que esta polea sin inercia cambia simplemente la dirección de una fuerza de tensión sin afectar su magnitud. Es más fácil comprender el caso tomando el punto de vista opuesto y preguntar por qué las dos tensiones deben ser iguales. Es claro que toda

polea real debe tener cierta inercia rotacional, por lo que no puede adquirir aceleración angular; a menos que exista cierto momento neto aplicado. Pero si las dos tensiones T y T' son precisamente iguales, el momento positivo debido a T está equilibrado exactamente por un momento negativo de igual magnitud debido a T' , lo que hace que el momento neto, y, por tanto, la aceleración angular, sean nulos. En consecuencia ninguna polea real puede tener aceleración angular, a menos que las dos tensiones sean distintas. Si la polea es grande y su masa también lo es en comparación con las dos masas suspendidas, esta diferencia entre las dos tensiones puede ser muy grande. Por otra parte, si la polea es pequeña y ligera en relación con los objetos suspendidos, la diferencia entre T y T' (que puede ser muy pequeña, ciertamente en comparación con cualquiera de esas dos cantidades) proporcionará la pequeña fuerza necesaria para lograr aceleración angular. En este caso, al desprestigiar totalmente la inercia rotacional de la polea se simplifica el trabajo de analizar la situación; después de todo, esto equivale a suponer que T y T' son iguales. Entonces se vuelve a la polea “ideal” sin inercia imaginada en el estudio anterior de éste y de muchos otros sistemas. En efecto, hay muchos casos de importancia práctica en los que es muy válida la suposición de una polea “ideal” sin inercia, aunque también hay otros en los que tiene que tenérsela en cuenta, y es en estos últimos cuando no se puede suponer que las tensiones a ambos lados son de igual magnitud. Los resultados de los cálculos que se harán luego, ilustran más claramente cuándo se puede considerar que una polea es “ideal” y cuándo no lo es.”. Se resuelve el problema dinámicamente. Se analiza detalladamente el efecto de las tensiones en la polea y se llega, mediante ecuaciones, a que la diferencia entre los módulos de las tensiones es nula si el momento de inercia de la polea es nulo. Se analizan los casos en que es válido desprestigiar el momento de inercia de la polea. Se los fundamenta en detalle numéricamente a través del análisis de errores.

Siguiendo con T6 -tema: Trabajo y energía en el movimiento de rotación (p. 270)-, en el ejemplo 7.6.2 (p. 275) se retoma el 7.2.5 (p. 257) sobre la máquina de Atwood con polea con inercia, se señala: *“Un tiempo después, la masa M habrá descendido una distancia d , y la masa m se habrá elevado la misma distancia. Entonces las masas estarán moviéndose con velocidad v , y la polea tendrá una velocidad angular ω . No hay rozamiento, de manera que la ecuación de la conservación de la energía puede escribirse como...”*. Sin embargo, en la página número 276 se menciona: *“...el momento resultante que actúa sobre el cuerpo (polea) es $(T'-T)R$. Durante un desplazamiento angular θ el trabajo efectuado por este momento resultante es $(T'-T)R\theta$ que, suponiendo que el cuerpo partió del reposo y según el teorema del trabajo y la energía, será igual a la energía rotacional final del objeto.”*. Sin embargo, no se aclara que el rozamiento entre el hilo y la periferia de la polea no es despreciable ya que el hilo no desliza en la periferia de la misma.

En T7, en el problema propuesto número 1 (p. 114) se habla de “polea pequeña” y en el número 11 (p. 115) se muestra un dispositivo similar a la máquina de Atwood para levantar un objeto, se especifican el radio de la polea y el coeficiente de fricción deslizante μ entre la cuerda y la polea. Se solicita demostrar que la tracción mínima descendente sobre la cuerda que

se necesita para levantar el objeto de peso W es: $F_{abajo} = W e^{\pi\mu}$. Se indica como sugerencia: “Este problema requiere métodos de cálculo integral”. En el Capítulo 9: Dinámica rotacional, se presenta el problema resuelto número 9-10 (p. 192) en el que interviene “una polea que puede considerarse un disco uniforme de masa...y radio..., montado en un eje horizontal fijo (sin fricción)” que tiene enrollado un cable ligero del que cuelga un cuerpo que cae verticalmente. Entre los ejercicios propuestos, en el número 38 (p. 203) se menciona que el hilo es “ligero” y pasa por una “polea sin fricción de radio R y de inercia rotacional I ”, y se aclara que “...La cuerda no resbala en la polea...”. En el problema resuelto número 10-3 (p. 213) se trata la misma situación que en el 9-10 planteando ahora la variación de la cantidad de movimiento angular del sistema completo y llegando a la misma expresión de aceleración lineal que cuando se hizo el planteo con la segunda ley de Newton. Se señala: “El resultado anterior es idéntico al problema resuelto 9-10 según lo previsto, ya que $\sum \tau_z = I\alpha_z$ y $\sum \tau_z = dL_z/dt$ no son más que formas diferentes de expresar la segunda ley de Newton.”. En el Capítulo 11: Energía I: Trabajo y energía cinética. En el problema propuesto número 3 (p. 252) se presenta un “...sistema de poleas diseñado para facilitar el levantamiento de una carga pesada L . Suponga que la fricción puede ignorarse en todas partes y que las poleas a la cual está sujeta tienen un peso total de...” Se solicita, entre otras cosas, averiguar la fuerza necesaria para elevar la carga y el trabajo de la misma.

En T9 - Capítulo 10: Dinámica del movimiento rotacional-, en el ejemplo 10.2 (p. 367): Cable que se desenrolla, se retoma el ejemplo 9.8 del capítulo anterior en el que se muestra un dibujo de una polea, a la que se denomina cilindro. Lo mismo ocurre en el ejemplo 10.3 (p. 368): Cable que se desenrolla II. En el ejemplo 10.4: Dos masas y una polea que gira, se dan los datos de masa y radio de la polea, se señala que el hilo la gira (a la polea) sin resbalar ni estirarse. En el problema propuesto número 10.66 (p. 399) se plantea la máquina de Atwood con polea, a la que se denomina rueda, de masa no despreciable. En el problema 10.83 (p. 401) se presenta una polea con forma de disco de masa M y radio R montada en un eje sin fricción; se señala además que el hilo no resbala en la misma.

En T10 - Capítulo 10: Rotación de un cuerpo rígido en torno a un eje fijo-, en el ejemplo 10.12 (Fig. 10.22, p. 290): máquina de Atwood, se analiza una polea con masa y fricción por la que pasa una cuerda de cuyos extremos cuelgan dos cilindros; se desprecia el momento de torsión de la fuerza de fricción (por el pequeño radio del eje) y se evalúa la velocidad angular de la polea a partir de la ecuación de conservación de la energía mecánica. Se menciona en el enunciado: “La polea tiene un radio R y momento de inercia I en torno a su eje de rotación. La cuerda no se desliza sobre la polea y el sistema se libera desde el reposo.”. En la solución presentada se explicita: “Ya que la cuerda no se desliza, la polea da vueltas en torno al eje. Se puede despreciar la fricción en el eje porque el radio del eje es pequeño en relación con el de la polea. Por tanto, el momento de torsión friccionante es mucho menor que el momento de torsión neto aplicado por los dos cilindros siempre que sus masas sean significativamente diferentes. En consecuencia, el sistema que consiste en los dos cilindros, la polea y la Tierra es

un sistema aislado sin fuerzas no conservativas en acción; debido a eso, la energía mecánica del sistema se conserva.”.

En T11 -Capítulo 9: Rotación-, en la página número 263, bajo el título: “*Indicaciones útiles para la resolución de problemas relacionados con la aplicación de la segunda ley de Newton a sistema en rotación*”, y resaltado, se señala lo siguiente: “*Tensión. Debido al rozamiento y a la inercia, la tensión en una cuerda enrollada alrededor de la rueda de una polea es mayor a un lado de la rueda que en el otro, ya que es necesario que la cuerda ejerza un momento sobre la rueda para que ésta gire. Conviene pues, denominar estas dos tensiones de forma distinta, T_1 y T_2* ”.

“*En los problemas donde intervienen poleas con momentos de inercia distintos de cero, los módulos de las tensiones de la cuerda a ambos lado de la polea no son iguales. El valor distinto de la tensión se debe a la fuerza de rozamiento estático entre la cuerda y la polea. Sin embargo, la fuerza de rozamiento estática no puede ser arbitrariamente grande. Si se considera una cuerda sin masa enrollada parcialmente alrededor de un cilindro un ángulo $\Delta\theta$ (medido en radianes), se puede demostrar que si la tensión a un lado de la polea es T y al otro lado es T' ($T' > T$), el valor máximo de T' en relación a T que se puede dar sin que la cuerda resbale es $T'_{\max} = T e^{(\mu_c \Delta\theta)}$ donde μ_c es coeficiente de rozamiento estático.”. Luego, se propone el estudio de la máquina de Atwood con polea de masa no despreciable.*

VI. Síntesis e implicancias para la enseñanza

Se encontró que en los LT analizados la gran mayoría de los autores explicita las hipótesis simplificadoras que usan para abordar los sistemas físicos, que involucran poleas, cuyo estudio desarrollan en los temas introductorios de Mecánica.

Sin embargo, en el desarrollo de los temas relacionados con Dinámica y Energía de la partícula se observó que los autores no explicitan entre qué sistemas el rozamiento es despreciable: ¿en el eje de la polea, y/o entre el hilo y la periferia de la misma, y/o con el fluido donde se halla sumergida, o sea el aire? ¿Tiene sentido en este caso hablar de rozamiento despreciable en el eje si se está considerando que las tensiones a ambos lados de la polea son iguales? La respuesta a esta última pregunta, en el caso de que la polea inicialmente se halle en reposo, es No, ya que si las tensiones son iguales, la misma no se acelera angularmente. Si el rozamiento entre el hilo y la periferia de la polea fuese despreciable, la polea no rotaría junto con el hilo, quedaría quieta y el hilo deslizaría en la periferia de la misma, su función sería sólo cambiar la dirección del hilo. Se comportaría como el borde de un glaciar (T11, pág. 96). Los estudiantes pueden ver que esto no ocurre en las experiencias que comúnmente observan en el laboratorio de Física, ni en los mecanismos con poleas que se les presentan en algunas situaciones fuera del aula.

Con relación a la consideración de polea de masa despreciable en el desarrollo de los primeros temas, se señala que pocos autores presentan explicaciones adecuadas. Se sostiene

que sería necesario poner en evidencia, a través de tareas que faciliten la comprensión (LEDESMA; POCOVI, 2013), que esta suposición permite desprestigiar los efectos de rotación en las poleas, de manera que sólo cumplen la función de cambiar la dirección del hilo que pasa a través de su periferia.

Si la polea posee inercia, y no existe un momento de fuerza por rozamiento en el eje, las tensiones en ambos lados de la misma son distintas resultando un torque aplicado no nulo, esto hace que la polea se acelere angularmente. La fuerza de rozamiento entre el hilo y la periferia de la polea no es nula. El hecho de que el hilo no resbale en la periferia de la polea se traduce en que la fuerza de rozamiento es distinta de cero. Esto se puede ver aislando la polea sin el hilo, el momento de fuerza externa que la acelera angularmente es justamente el de la fuerza de rozamiento que ejerce el hilo sobre la periferia de la polea. También se puede ver aislando el hilo, si su masa es despreciable, la suma de las fuerzas actuantes sobre el mismo debe ser nula.

Otra manera de analizar el comportamiento de la polea sería considerar que, tomando como sistema físico al hilo -de masa despreciable- más la polea, el trabajo del torque resultante de las tensiones es el que hace variar la energía cinética de rotación de la polea. Si el sistema físico es sólo la polea, la variación de la energía cinética de rotación se debe al trabajo del momento de la fuerza de rozamiento entre el hilo y la periferia de la polea. Si la fricción en el eje no es despreciable habrá un torque contrario al torque resultante de las tensiones y habrá una transformación de energía mecánica en interna debido al trabajo del torque por fricción en el eje.

Se destacan los autores que, al abordar temas relacionados con Sólidos en rotación, se detienen en retomar el modelo simplificado de polea, en esa instancia, con más herramientas conceptuales por parte de los estudiantes.

VII. Conclusiones

Se reitera que los LT de Física que habitualmente se usan en el ciclo inicial de carreras de grado de corte científico – tecnológico, constituyen unas de las herramientas más confiables para aprender (OTERO, 1990). Se sostiene que resulta más efectivo, para lograr una adecuada conceptualización de los fenómenos físicos, que los estudiantes se apoyen fuertemente en el estudio mediante LT.

Sin embargo, los docentes deberían alertar a los alumnos sobre los riesgos conceptuales que acarrea la adopción de hipótesis “simplificadoras” como el de *polea de masa despreciable y sin fricción*; y en la medida que el diseño curricular lo permita, retomar los casos de las simplificaciones realizadas en el desarrollo de los temas introductorios, en las instancias en que los alumnos cuenten con más herramientas matemáticas y conceptuales para profundizar en el estudio de sistemas físicos.

Si bien algunos autores de LT recuperan las simplificaciones realizadas en los primeros temas, en capítulos posteriores, los autores de este trabajo sostienen que el docente en las

clases, a través de diversas actividades, no debería desaprovechar la oportunidad de realimentar el desarrollo de contenidos de Mecánica, haciendo notar que en definitiva aprender a resolver problemas de Física en el ciclo inicial de carreras científico - tecnológicas es, en gran parte, aprender a modelar sistemas físicos de manera tal que al aplicar las leyes y principios de la disciplina, se pueda dar respuesta a los interrogantes planteados respecto al comportamiento del sistema físico que se estudia.

Si los resultados encontrados en este trabajo aportaran a los docentes elementos para el diseño de recursos didácticos que promuevan el aprendizaje de los contenidos desarrollados en los cursos de Física en los estudiantes, de manera que los mismos se encuentren en condiciones más favorables para construir conocimientos, es decir, en mejores condiciones para aprender Física, las aspiraciones de los autores de esta presentación se consideran alcanzadas.

Referencias

BARDIN, L. **El análisis de contenido**. Madrid: Akal, 1996.

BOUCIGUEZ, M.; SANTOS, G. Applets en la enseñanza de la física: un análisis de las características tecnológicas y disciplinares. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de la Ciencias**, v. 7, n. 1, p. 56-74, 2010.

CATALÁN, L.; CABALLERO SAHELICES, C.; MOREIRA, M. Los libros de texto usados por los alumnos para el aprendizaje del campo conceptual de la inducción electromagnética. **Latin American Journal of Physics Education**, v. 3, n. 3, p. 656-664, 2009.

CONCARI, S. El enfoque interpretativo investigación en educación en ciencias. **Revista Ensaio: Avaliação y Políticas Públicas em Educação**, v. 10, n. 36, p. 315-330, 2002.

FORJAN, M.; SLIŠKO, J. Simplifications and idealizations in high school physics in Mechanics: a study of Slovenian curriculum and textbooks. **European Journal of Physics Education**, v. 5, n. 3, p. 20-31, 2014.

GIACOSA, N; ZANG, C; AUTOR 1; MAIDANA, J.; SUCH, A. Circuitos resistivo-inductivos en corriente continua: análisis de su tratamiento en libros de texto del ciclo básico universitario. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 30, p. 253-286, 2013.

GIORGI, S.; CÁMARA, C.; CARRERI, R.; BONAZZOLA, M. Un estudio sobre libros de Física en el contexto del Ciclo Inicial de carreras de grado en la Universidad Nacional del Litoral. En: REUNIÓN EN EDUCACIÓN EN FÍSICA, XVIII, 2013, San Fernando del Valle de Catamarca. **Memorias...** Catamarca, Argentina, 2013. 1 CD-ROM.

GIORGI, S.; CÁMARA, C.; MARINO, L.; CARRERI, R.; BONAZZOLA, M. Análisis de contenidos de Mecánica en libros de texto utilizados en la enseñanza de la Física en el ciclo inicial

de carreras universitarias. **Revista de Enseñanza de la Física**, v. 26, n. Extra, Dic., p. 145-156, 2014.

KING, C. An analysis of misconceptions in science textbooks: Earth science in England and Wales. **International Journal of Science Education**, v. 32, n. 5, p. 565-601, 2010.

LEDESMA, L.; POCOVÍ M. C. Ontología del concepto de aceleración: su comprensión mediante el aprendizaje a partir de textos. **Latin American Journal of Physics Education**, v. 7, n. 1, p. 68-78, 2013.

MARINO, L.; GIORGI, S.; CÁMARA, C.; CARRERI, R. Hipótesis simplificadoras que pueden obstaculizar la comprensión de la Mecánica en el ciclo inicial universitario: el tratamiento de cuerdas inextensibles y de masas despreciables en libros de texto. **Revista de Enseñanza de la Física**, v. 28, n. Extra, p. 127-136, 2016.

MARINO, L.; GIORGI, S.; CÁMARA, C.; CARRERI, R. Controversias en el tratamiento del movimiento oscilatorio armónico en libros de Física del nivel básico universitario. **Revista de Enseñanza de la Física**, v. 27, n. Extra, p. 79-87, 2015.

OTERO, J. Variables cognitivas y metacognitivas en la comprensión de textos científicos: el papel de los esquemas y el control de la propia comprensión. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 8, n. 1, p. 17-22, 1990.

POCOVÍ, M.; HOYOS, E. Corriente de desplazamiento: su presentación en textos y su comprensión por parte de los estudiantes. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 29, n. 2, p. 275-288, 2011.

SAMAJA, J. **Epistemología y Metodología**. EUDEBA: Argentina, 1994.