



LA MODELIZACIÓN DE RESORTES CON MASA DESPRECIABLE: DIFICULTADES DE LOS ESTUDIANTES EN SU CONCEPTUALIZACIÓN Y SU TRATAMIENTO EN LIBROS DE FÍSICA USADOS EN EL CICLO INICIAL UNIVERSITARIO

The massless spring modelling: difficulties of students in its conceptualization and treatment in physics textbooks used at the university initial cycle

Silvia María Giorgi [sgiorgi@fiq.unl.edu.ar]

Departamento de Física de la Facultad de Ingeniería Química de la
Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Santa Fe, Argentina.

Luis Alberto Marino [lmarino@fiq.unl.edu.ar]

Departamento de Ciencias Naturales de la Facultad de Humanidades y Ciencias de la
Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Santa Fe, Argentina.

Ricardo Antonio Carreri [rcarreri@fiq.unl.edu.ar]

Departamento de Física de la Facultad de Ingeniería Química de la
Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Santa Fe, Argentina.

Cristina Noemí Cámara [ccamara@fiq.unl.edu.ar]

Departamento de Física de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Santa Fe, Argentina y Departamento de Ciencias Básicas de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Litoral, Esperanza, Santa Fe, Argentina.

Resumen

En la enseñanza de la Física, al abordar los temas de Mecánica, son numerosas las situaciones tratadas que involucran masas vinculadas a través de resortes en las que, con fines simplificadores, se idealizan a los resortes asignándoles masa despreciable. Se presenta un estudio sobre las conceptualizaciones, desde los puntos de vista dinámico y energético, logradas por estudiantes universitarios que cursan carreras científico-tecnológicas, acerca de dicha modelización. A partir de resultados obtenidos con relación a las conceptualizaciones, se indagó sobre el tratamiento que de esta idealización presentan los libros de texto de física usados frecuentemente en el ciclo inicial. En estos últimos se investigó, si se explican adecuadamente las consecuencias físicas derivadas de considerar a los resortes sin masa. Del estudio realizado se desprende, por un lado, que no es inmediato para los estudiantes establecer nexos entre esta modelización, y la aplicación de las leyes y principios físicos, al abordar situaciones problemáticas; y por otro, que no todos los autores de los libros de Mecánica frecuentemente utilizados presentan análisis detallados acerca de la misma. Se destacan recomendaciones para ser consideradas por docentes.

Palabras claves: Mecánica introductoria; Enseñanza y aprendizaje; Libros de texto; Resortes; Modelizaciones.

Abstract

In Physics teaching, especially when the topics of Mechanics are addressed, there are several situations about masses linked by springs, in which springs are considered to have negligible mass with simplifying purposes. We present a study on the conceptualizations, from the dynamic and energetic points of view, achieved by university students who study scientific and technological careers, about this modelling. From the unpromising results obtained, we inquired, about the treatment of this idealization in Physics textbooks frequently used in the initial cycle, in which we researched if the physical consequences of considering springs massless are properly explained by the authors. From the results achieved we consider that establishing links between this idealization, and applying laws and physical principles when addressing problem situations may not be immediate for students; and, on the other hand, we found that not all the authors presented sufficient explanations about this simplifying assumption. Recommendations for teachers are mentioned.

Keywords: Introductory Mechanics; Teaching and learning; Textbooks; Springs; Modelling.

INTRODUCCIÓN

Son numerosos los sistemas físicos formados por masas vinculadas a través de resortes que se presentan en los materiales de enseñanza que se imparten en un curso de Mecánica introductoria y también en los ejemplos y problemas presentados en los libros de texto (LT). Con el fin de simplificar el tratamiento inicial de estos sistemas se modela a los resortes asumiendo que su comportamiento puede ser descrito a través de la ley de Hooke y que su masa es despreciable.

La experiencia en didáctica de los autores de este trabajo permite sostener que no es inmediato para los estudiantes establecer nexos entre modelar a los resortes considerándolos con masa despreciable, y el planteo de las leyes y principios que permiten abordar situaciones problemáticas que involucran masas vinculadas a través de resortes. Es así que, dada la alta frecuencia de consultas por parte de los estudiantes, en el contexto en que se desarrolla este trabajo, acerca de dudas relacionadas con situaciones dinámicas en las que es necesario aislar un resorte para vincularlo con otros sistemas, se propuso profundizar acerca de esta idealización.

Por un lado, se trabajó en las conceptualizaciones que han logrado construir estudiantes que han cursado y preparado la asignatura en la que se tratan contenidos básicos de Mecánica correspondiente al ciclo inicial universitario, para rendir un examen final, y por otro, en cómo dicha idealización es presentada por parte de los autores de los LT recomendados a los mismos.

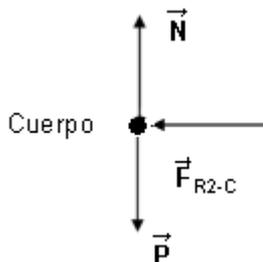
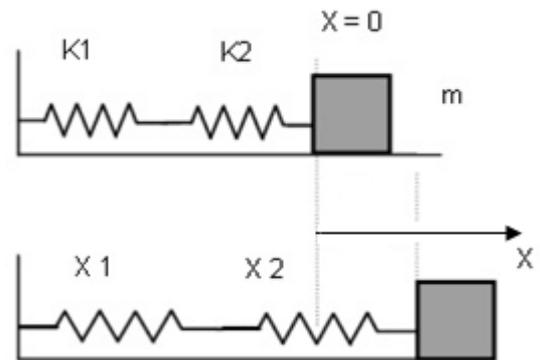
A modo de ejemplo se presenta una situación problemática propuesta en varios LT de uso frecuente en los capítulos correspondientes al tema Oscilaciones de: Resnick, Halliday y Krane (2006) -Prob. 6, pág. 396-, Sears, Zemansky, Young y Fredman (2009) -Prob. 13.96c, pág. 513-, Serway y Jewett (2010) -Prob. 67a, pág.447-, Tipler y Mosca (2005) -Prob. 111, pág. 427-, en la que los resortes se encuentran dispuestos en serie, y es necesario aislar uno de los mismos para relacionar las elongaciones de ambos, y encontrar así la constante elástica de restitución equivalente K_{eq} .

Problema: Dos resortes están unidos a una masa m , y a soportes fijos, tal como se muestra en la figura. Si los resortes tienen constantes elásticas K_1 y K_2 , calcular la constante equivalente K_{eq} del sistema tal que el período de oscilación resulte:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{K_{eq}}}$$

Solución:

Si bien en el enunciado no se menciona al fenómeno de rozamiento entre la base del cuerpo y la superficie, considerando despreciable la fuerza de fricción, el diagrama del cuerpo aislado para el Cuerpo y el planteo de la segunda ley de Newton resultan:



$$F_{R2-c} = m_c a_c$$

$$F_{R2-c} = m_c \frac{d^2x}{dt^2}$$

$$-K_2 x_2 = m_c \frac{d^2x}{dt^2}$$

Diagrama del cuerpo aislado para el Resorte 2 y planteo de la segunda ley de Newton para el mismo:



$$\vec{F}_{R1-R2} + \vec{F}_{C-R2} = m_{R2} \vec{a}_{R2}$$

$$m_{R2} = 0$$

$$\vec{F}_{R1-R2} + \vec{F}_{C-R2} = 0$$

Relacionando las ecuaciones anteriores:

$$K_{eq} = \frac{K_1 K_2}{K_1 + K_2}$$

$$K_1 x_1 = K_2 x_2$$

$$x_1 + x_2 = x$$

En clases de consultas sobre resolución de problemas se pudo observar que la principal dificultad que se presenta a los estudiantes es el análisis de las consecuencias físicas derivadas de considerar a los resortes de masa despreciable. Para corroborar este hecho se incorporó en el cuestionario correspondiente a un examen final de la asignatura, un ítem con preguntas acerca de los comportamientos dinámico y energético de un resorte, cuyo texto se muestra en el Anexo 1. El pobre desempeño de los estudiantes en las respuestas dadas dio lugar a otro estudio relativo a cómo es tratada esta modelización en los LT que se recomiendan frecuentemente a los estudiantes. Se encontró que no todos los autores de dichos LT desarrollan explicaciones que aclaren el comportamiento físico de los resortes considerados de masa despreciable.

Las preguntas que se pretenden contestar en esta investigación son: ¿Los estudiantes comprenden las consecuencias físicas derivadas de considerar a los resortes con masa despreciable? ¿Cómo es tratada por los autores de LT esta idealización?

Los LT constituyen un material curricular que tiene una influencia notable en la enseñanza y el aprendizaje de las Ciencias Naturales en general, y de la Física en particular (Otero, 1990). Sin embargo, en el trabajo de Alcocer et al. (2004) se analiza la “aparente arbitrariedad” con que se introducen ciertos contenidos de Mecánica en los LT utilizados en los primeros años de carreras universitarias, sosteniendo que las mismas fomentan en los estudiantes un aprendizaje memorístico carente de toda significatividad desde un punto de vista ausubeliano.

En el presente trabajo se abordaron LT de Mecánica, empleados frecuentemente en los cursos de física del ciclo inicial universitario, en particular en el correspondiente a las diferentes carreras científico - tecnológicas de la Facultad de Ingeniería Química (FIQ) de la Universidad Nacional de Litoral (UNL), de Argentina y de numerosas instituciones latinoamericanas. Se buscó analizar si ante situaciones que involucran masas vinculadas a través de resortes, se idealizan a los resortes con una aparente “arbitrariedad” (Alcocer et al., 2004) al caracterizarlos con masa despreciable. Dicha arbitrariedad de las presentaciones en los LT debe ser entendida como la falta de justificación (en términos de leyes, principios o conocimientos previos) de las afirmaciones que se realizan o de los contenidos que se presentan. Alcocer et al. (op. cit.) señalan que en una primera aproximación se debería considerar como arbitrario todo aquel contenido que no se pueda conectar con principios y leyes de carácter general. Agregan que es posible que muchos de los casos que se detecten siguiendo el principio anterior tengan su origen en un aprendizaje superficial por parte de los alumnos. Y sostienen que eliminar estas arbitrariedades requeriría por parte de los profesores, realizar alguna pequeña investigación bibliográfica y, sin duda, un cierto esfuerzo.

A partir de los resultados obtenidos se destacan algunas cuestiones que los docentes deberían trabajar con los estudiantes a través de actividades que faciliten la comprensión de las consecuencias que se derivan de caracterizar a sistemas físicos con masa despreciable sean estos resortes, poleas (Giorgi et al., 2017), cuerdas (Marino et al., 2016), etc., si se pretende alcanzar como objetivo primordial de la enseñanza que los mismos aprendan significativamente. Es decir, que los estudiantes se encuentren en condiciones de trasladar los conocimientos construidos acerca de los contenidos de la Mecánica correspondientes al ciclo inicial universitario, a los diversos modelos que se realizan para simplificar los tratamientos físico y matemático de algunos sistemas físicos cuyo estudio es de interés.

MARCO TEÓRICO

La enseñanza de la Física busca promover en los estudiantes la comprensión de los contenidos de manera tal que puedan aplicarlos en situaciones diversas. Se sostiene que lo anterior puede ser logrado fundamentalmente a través de un aprendizaje significativo (Ausubel et al., 1991); en este sentido, la apropiación de los conocimientos por parte del sujeto es concebida como un proceso en el que resulta indispensable la participación activa del mismo.

En el contexto del aprendizaje de las ciencias, la propuesta constructivista de Ausubel et al. (op. cit.) se basa en que el estudiante construya representaciones sobre las que pueda operar en diferentes situaciones y no recurrir a la reproducción memorística de definiciones y al uso de fórmulas. En este proceso juegan roles fundamentales las estrategias didácticas que los docentes implementan en sus clases y los materiales de estudio que los mismos recomiendan a sus estudiantes como son los LT.

La visión de Ausubel et al. (op. cit.) sostiene que los conceptos se instauran en la estructura cognitiva del estudiante y brindan apoyo a las nuevas ideas, sirven de anclaje, permitiendo que el nuevo conocimiento no sea adquirido de manera memorística. La meta de la actividad de aprendizaje es la adquisición de un cuerpo claro, estable y organizado de conocimientos, una vez adquirido este conocimiento, la nueva estructura cognoscitiva es la variable más importante que influye en la capacidad del estudiante para aplicar esos conocimientos y adquirir nuevos dentro del mismo campo.

Es de señalar que no siempre los procesos de enseñanza conducen a un aprendizaje significativo, el sujeto tendrá este tipo de aprendizaje cuando pueda incorporar la información que recibe a las estructuras de conocimiento que posee, es decir, cuando el nuevo material adquiere significado para el sujeto a partir de sus conocimientos anteriores.

En relación con lo anterior, el objetivo de la enseñanza puede ser concebido como una reconstrucción conceptual por parte de los estudiantes (Kattmann, 2008; citado por Duit y Treagust, 2009). Coincidiendo con Ausubel, et al. (op. cit.), este proceso denota itinerarios de aprendizaje de los estudiantes desde concepciones anteriores a la enseñanza, hacia representaciones más cercanas a las consensuadas por la comunidad científica, el mismo se puede propiciar desde mecanismos de aprendizaje intencionales, en los que las actividades y materiales impartidos en los distintos contextos de enseñanza favorezcan la comprensión de los conceptos y relaciones que se busca que los estudiantes internalicen.

Si el objetivo primordial de la enseñanza es que el alumno aprenda a abordar situaciones diversas, se debe prestar especial atención a los conceptos básicos involucrados en los contenidos de física a enseñar: cómo son presentados al alumno, cómo se relacionan entre sí, cómo se definen y se hacen operativos. En esto último, tienen que ver las maneras en que se modelan los distintos sistemas, y a la vez, cómo éstos son conceptualizados por el estudiante, qué representaciones construyen de los mismos a partir de dichos conceptos, cómo los relacionan y cómo los aplican. Las representaciones son estructuras complejas que constituyen la competencia conceptual del sujeto para guiar y dirigir su comportamiento y la búsqueda de conocimiento. Las mismas juegan un papel relevante en el aprendizaje y en la enseñanza de las ciencias, ya que cumplen funciones cognitivas de predicción, interpretación y explicación (Concari, 2001).

Muchas de estas representaciones construidas a lo largo de la vida cotidiana constituyen verdaderas teorías implícitas que, como resultan muy útiles, la mayoría de las veces compiten con ventaja con aquello que se enseña en el aula. Esto ha sido tema de un vasto trabajo de investigación en la enseñanza y el aprendizaje. Sin embargo, aprender Física implica superar las restricciones que imponen las propias teorías de los alumnos, promoviendo su acercamiento al conocimiento científico, aunque esto no sea generalmente logrado en la medida que es deseada por los docentes.

Los científicos modelan los fenómenos en estudio recorriendo un camino sistemático, consensuado por la comunidad científica. Los modelos conceptuales son representaciones consistentes con el conocimiento científicamente compartido. En general, un modelo representa la situación real de manera incompleta, aproximada e inexacta, pero es más simple que ella (Concari, op. cit.). El modelado constituye una cuestión fundamental en la Física, este proceso es una herramienta básica en la explicación científica y substancial en la resolución de problemas. La Física, por la propia estructura del cuerpo de conocimientos que abarca, así como por la lógica de tratamiento de esos conocimientos, requiere para su comprensión y aprendizaje, trabajar con modelos.

Para que el aprendizaje sea efectivo, los estudiantes deberían adquirir las capacidades que les permitan transformar y reconstruir los conocimientos que reciben. Uno de los objetivos de la enseñanza de la Física es promover la comprensión de los modelos consensuados por la comunidad científica, su aprendizaje,

y su aplicación para resolver problemas nuevos. La propuesta constructivista (Ausubel et al, 1991) de evaluar el conocimiento haciendo que éste sea aplicado en situaciones nuevas, establece la condición de que los sujetos construyan representaciones y operen sobre ellas en cada situación, en lugar de recurrir a la reproducción de definiciones que no alteran sus representaciones.

A fin de acercar los contenidos conceptuales a los estudiantes, se llevan a cabo idealizaciones que permitirían simplificar el tratamiento de los fenómenos y así facilitar la construcción del conocimiento. Esto significa construir modelos más simples que, aunque más limitados, pueden resultar más funcionales para los estudiantes. De todas maneras, un modelo debe ser presentado como una aproximación a la realidad, y no como la realidad misma, lo que supone hacer explícita esta distinción en la enseñanza.

Con el aprendizaje se espera que el alumno lleve a cabo procesos de reconstrucción conceptual (Kattmann, 2008; citado por Duit y Treagust, 2009) en los que modifica, integra, reinterpreta, sus conocimientos previos con el objetivo de construir conocimientos más complejos y/o más cercanos a los científicos. Sin embargo, se sostiene que las simplificaciones que se realizan a través de idealizaciones para lograr este objetivo no siempre resultarían tan inmediatas a los estudiantes. Según Alcocer et al. (2004) la simplificación de contenidos en aras a la supuesta comprensión puede dar como resultado que los estudiantes no sepan identificar el origen de múltiples fenómenos físicos.

Un objetivo importante en la enseñanza de la Física es que los alumnos sean capaces de utilizar sus conocimientos en la resolución de problemas. Esto requiere, no sólo de conocimientos de Matemáticas y Física, sino el juicio apropiado acerca de cómo éstos deben ser usados para reducir el problema real, en general complejo, a uno de tal forma que el conocimiento científico pueda ser aplicado para solucionarlo. Saber cuándo y cómo el conocimiento debe ser aplicado y si la respuesta alcanzada satisface razonablemente el problema original, es el objetivo principal buscado con la enseñanza.

La mayor dificultad en la resolución de un problema estriba en establecer la relación entre las características de la situación y el cuerpo de conocimientos disponible. En la definición del problema se ponen de manifiesto las magnitudes físicas relevantes y se selecciona o identifica el sistema de interés. En el proceso de formulación de suposiciones y selección de leyes se lo modela. Es justamente esta descripción y modelización, lo que permite aplicar el conocimiento utilizando leyes y ecuaciones constitutivas a cada situación (Concari, 2000).

La resolución de problemas implica una situación de transferencia de conocimientos, ocupando un lugar relevante en el proceso educativo como estrategia de enseñanza, como actividad de aprendizaje y como instrumento de evaluación. Un problema, entendido como una situación que plantea dificultades para las que no se poseen soluciones conocidas, requiere para su resolución, de la consecución de ciertos procedimientos como son el análisis cualitativo, la comprensión del problema (no se puede intentar resolver un problema si no se identifica “cuál es el problema”), la elaboración de un plan, la puesta en marcha del plan y la reflexión y/o evaluación de la solución. Un obstáculo que los estudiantes encuentran en la resolución de problemas suele residir en la dificultad de hacer explícito cuál es el sistema bajo estudio y cómo éste es modelado. En la medida en que todos los procesos involucrados en la resolución de problemas se hagan conscientes y explícitos, el estudiante estará en condiciones de reflexionar sobre ellos y de realizar procesos metacognitivos para encontrar posibles soluciones derivadas de la aplicación de los conceptos y relaciones que incorporó a su estructura cognitiva a través de un aprendizaje de tipo significativo. Massa et al. (1997) recomiendan que en las clases de resolución de problemas de Mecánica con estudiantes universitarios de primer año: “*Es fundamental explicitar, en el camino de resolución, los principios físicos involucrados, sus límites de validez y la posibilidad real de la situación planteada.*” (2b-15).

En la enseñanza, es deseable propiciar en los alumnos una visión del uso de modelos como una herramienta con la que se pueden responder sólo algunas preguntas formuladas sobre el problema y también el análisis cualitativo de la situación abordada, ambos como cuestiones naturales a la hora de resolver problemas. De esta manera se estaría promoviendo en el alumno el desarraigo de la imagen consistente en que resolver un problema significa sólo encontrar un número o reemplazar datos en una ecuación. Es decir, el desarraigo de lo que Alcocer et al. (2004) denominan arbitrariedades, al referirse a las conexiones entre conceptos físicos sin argumentos precisos.

En este trabajo se pone énfasis en la necesidad de propiciar en los alumnos no sólo la comprensión de los modelos conceptuales y su aprendizaje, sino también su aplicación para resolver problemas sobre sistemas físicos en los que se hacen idealizaciones para facilitar su resolución.

Más de tres décadas de investigación en enseñanza y aprendizaje de la Física han demostrado que los estudiantes presentan dificultades para conceptualizar los contenidos básicos de la Mecánica. En los

cursos universitarios introductorios, se llevan a cabo idealizaciones que facilitarían el abordaje de algunos sistemas por parte de los estudiantes. Estas idealizaciones servirían de anclaje para construir conocimientos que permitan a los estudiantes abordar sistemas físicos más complejos. No obstante, se señala que dichas idealizaciones podrían efectivamente actuar como anclajes, sólo si los mismos comprenden sus consecuencias físicas.

Existen numerosos trabajos que describen la falta de claridad en el desarrollo de temas en los LT, lo que estaría obstaculizando la construcción del aprendizaje por parte de los estudiantes.

Marino et al. (2016) investigaron sobre el tratamiento dado por los autores de once LT, con cálculo, a las implicancias físicas de considerar a las cuerdas sin masa e inextensibles encontrando que las explicaciones dadas son escasas en la mayoría de los libros. En otro trabajo (Marino et al., 2015) encontraron, en la misma muestra de LT, que en el tratamiento del movimiento oscilatorio armónico la frecuencia angular es presentada, 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, lo cual puede resultar confuso a los estudiantes.

En el análisis de tres LT de física, de escuela secundaria, desde el punto de vista de simplificaciones e idealizaciones en el campo de la Mecánica, Forjan y Sliško (2014) encontraron que en dos LT más de la mitad de las simplificaciones analizadas no son presentadas correctamente.

Por su parte, 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 se modela de manera implícita a los circuitos como sistemas aislados.

En su investigación acerca de la corriente de desplazamiento en LT, Pocoví y Hoyos (2011) encontraron que las explicaciones presentadas en el sistema lingüístico son en su mayoría poco precisas y confusas.

En su trabajo sobre LT de secundaria que abordan temas relacionados con Ciencias de la Tierra, King (2010) señala que los errores que cometen los estudiantes universitarios y los profesores de ciencias, a menudo también se encuentran en los materiales publicados, por lo que es probable que refuercen los conceptos erróneos en los mismos.

En el trabajo realizado por Catalán; Caballero Sahelices y Moreira (2009) sobre los LT usados por alumnos para el aprendizaje de temas relacionados con la inducción electromagnética, los autores recomiendan que se ponga más cuidado en la decodificación de las distintas representaciones simbólicas que expresan los modelos científicos que se presentan y se expliciten con mayor claridad las condiciones de trabajo o límites de validez de los mismos.

De acuerdo con los resultados obtenidos del estudio sobre una muestra de problemas resueltos de Mecánica de final de capítulo en textos de física de uso común en cursos universitarios realizado por Concari y Giorgi (2000), el modelo adoptado no es prácticamente explicitado por los autores, apareciendo como natural y única la elección del sistema físico y del modelo, y no como una construcción intelectual conveniente, posible entre otras. En la totalidad de los ejemplos de la muestra, el sistema físico objeto de estudio ha sido seleccionado sin ninguna explicación, no se justifica dicha elección y no se consideran otras alternativas. También las representaciones del sistema físico (pictórica, simbólica y formal) se superponen en muchos casos, sin que se hagan explícitas sus diferencias. Otro estudio muestra el empleo de modelos antagónicos a sistemas físicos en distintas situaciones de rozamiento en libros de física de nivel universitario (Concari et al., 1999).

Por todo lo descrito anteriormente se sostiene que es importante conocer las dificultades que se presentan a los estudiantes con relación a las modelizaciones que se llevan a cabo al iniciar el desarrollo de los contenidos de Mecánica en el ciclo inicial universitario, las cuales se reitera que no resultan tan fáciles de ver por los mismos, y a su vez analizar desde el punto de vista de los aprendizajes alcanzados por los estudiantes, si los contenidos son presentados de manera clara por los autores de los LT que se recomiendan a los mismos para abordar contenidos de Mecánica básica. Esto resulta decisivo y fundamental en la selección de los materiales de apoyo que se proponen.

Si los resultados que se muestran en esta presentación aportan a los docentes elementos para, por un lado recomendar los LT que consideren más aptos para que los estudiantes aprendan, y por otro, para diseñar estrategias didácticas a los fines de mejorar la comprensión por parte de los mismos de las

significaciones físicas que conlleva idealizar a los resortes con masa despreciable, las expectativas de los autores serían alcanzadas.

OBJETIVOS

Este trabajo se llevó a cabo en dos etapas. En primer lugar, se indagó acerca de las conceptualizaciones de estudiantes con relación a la hipótesis de resorte sin masa, luego se investigó sobre las aclaraciones y/o explicaciones que los autores de libros de Mecánica con cálculo, es decir, libros en los que se desarrollan los contenidos haciendo uso de cálculo diferencial e integral al menos en una variable, presentan en los textos verbal y gráficamente.

Se planteó estudiar por un lado, si los estudiantes, en el contexto de la promoción de la asignatura Física I, en la que se abordan los contenidos de Mecánica introductoria, que es de cursado común para las carreras de tipo científico tecnológicas que se dictan en la FIQ (UNL), han conceptualizado adecuadamente las consecuencias físicas derivadas de considerar a los resortes con masa despreciable, y por otro, si el desarrollo de los contenidos, relativos a dicha idealización en los LT de Mecánica más frecuentemente usados en el ciclo inicial, es adecuado de manera de promover en los estudiantes el aprendizaje significativo de los conceptos y relaciones asociados a la idealización mencionada.

Se persiguieron los siguientes objetivos:

Con relación a los estudiantes participantes en la investigación:

- Evaluar las conceptualizaciones que los estudiantes han construido acerca de la idealización de resortes con masa despreciable, desde los puntos de vista dinámico y energético.

Se parte de la hipótesis consistente en que no es inmediato para los estudiantes la construcción de conceptualizaciones adecuadas acerca de la idealización que considera a los resortes con masa despreciable.

Con relación a los LT:

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

- Identificar si los autores de los LT formulan de manera explícita la idealización de resorte de masa despreciable.

- En los casos en los que los autores explicitan dicha idealización, identificar si se señalan las consecuencias físicas derivadas de la misma.

La hipótesis que guía esta segunda etapa del estudio consiste en que el tratamiento que presentan algunos de los LT de Mecánica más recomendados, acerca de dicha idealización, es insuficiente para promover la conceptualización de la temática por parte de los estudiantes que estudian basándose en dichos recursos.

METODOLOGÍA

La primera etapa del estudio se centralizó en el análisis de las respuestas escritas dadas por un grupo de estudiantes regulares en la asignatura Física I, en una instancia de evaluación final de la asignatura en la que se constituyó una muestra de 25 alumnos. Es así, que se llevó a cabo un estudio de casos (Concari, 2002) en el sentido que las respuestas escritas (unidades de análisis) estudiadas fueron las dadas por estos estudiantes relativas a un ítem del examen final, incorporado intencionalmente, que consistió en el análisis de un sistema constituido por un resorte vertical del que cuelga un cuerpo que oscila (Anexo I); se solicitó que sólo para el resorte indicaran las fuerzas actuantes, elaboraran el diagrama de cuerpo aislado y señalen los valores de la fuerza resultante, la energía potencial gravitatoria y la energía cinética. Se llevó a cabo un análisis de contenido (Bardin, 1996) del texto escrito y gráfico volcado por los estudiantes en las respuestas dadas. Cabe mencionar que los estudiantes que conformaron la muestra adquirieron la condición de regular en Física I habiendo cursado la asignatura completa (acreditado los conocimientos básicos, a través de la aprobación de las evaluaciones de regularización, y aprobado los trabajos prácticos de laboratorio).

Si bien no se pueden generalizar los resultados obtenidos a partir de un estudio de casos, las respuestas poco adecuadas volcadas por los estudiantes en la instancia anterior, dieron lugar a profundizar en el análisis acerca de la manera en que los autores de los LT de uso generalizado en el ciclo inicial universitario presentan y/o discuten la hipótesis que considera a los resortes con masa despreciable. Se trabajó con una muestra intencional de siete LT de Mecánica de uso frecuente para la enseñanza en el contexto de este trabajo, y en numerosas universidades latinoamericanas. Los LT seleccionados involucran cálculo diferencial e integral al menos en una variable. El objeto de análisis consistió en el tratamiento que se da a la hipótesis mencionada. Se realizó un análisis de contenido (Bardin 1996) que permitió conocer cómo es presentada dicha hipótesis desde los puntos de vista dinámico y energético. Se estudiaron los capítulos introductorios de Dinámica y Energía (unidades de análisis), se analizaron el texto escrito y los esquemas presentados relativos al tratamiento de los resortes con masa despreciable. El texto analizado abarcó los desarrollos teóricos, así como también los correspondientes a las situaciones presentadas a modo de ejemplos y problemas resueltos en el texto, sobre sistemas físicos en los que intervienen resortes.

En la Tabla 1 se muestran los LT que conforman la muestra analizada, los mismos se ordenaron alfabéticamente según el apellido del primer autor.

Tabla 1: Libros de Física analizados

ALONSO, M. Y FINN, E. Física . Edición revisada y aumentada. México: Addison Wesley Longman de México S. A., 1999.
GETTYS, W.; KELLER, F. Y SKOVE, M. Física Clásica y Moderna . Madrid: McGraw Hill, 1991.
RESNICK, R.; HALLIDAY, D. Y KRANE, K. Física, volumen I , quinta edición. México: CECSA, 2006.
ROEDERER, J. Mecánica elemental . Argentina: Eudeba, 2011.
SEARS, F.; ZEMANSKY, M.; YOUNG, H. Y FREDMAN, R. Física universitaria, volumen 1, decimosegunda edición . México: Pearson Educación, 2009.
SERWAY, R. Y JEWETT, J. Física para ciencias e ingeniería, volumen 1, séptima edición . México: Cengage Learning, 2010.
TIPLER, P. Y MOSCA, G. Física para la ciencia y la tecnología, volumen 1, quinta edición . Barcelona: Reverté, 2005.

Fuente propia

RESULTADOS

En la etapa inicial de este estudio, se indagó sobre las conceptualizaciones construidas por estudiantes sobre las consecuencias físicas de considerar a los resortes sin masa en una instancia de examen, en la que se constituyó una muestra de 25 estudiantes que aspiraban a la promoción completa de la asignatura, y que habrían estudiado todos los contenidos además de haber cursado y regularizado la asignatura. En la Tabla 2 se muestran los resultados alcanzados a partir del estudio de las repuestas obtenidas a las preguntas que se presentan en el Anexo 1. Cabe mencionar que 3 de los 25 estudiantes que respondieron dicho cuestionario no contestaron las preguntas en cuestión.

Tabla 2: Números de respuestas adecuadas dadas por los estudiantes a las preguntas formuladas sobre un resorte ideal

Preguntas sobre:	Relaciones entre el número de respuestas adecuadas y el número total de respuestas dadas
Las fuerzas que actúan sobre el resorte	0/25
El diagrama del cuerpo libre del resorte	0/25
La resultante de fuerzas	0/25
La energía potencial gravitatoria del resorte	5/25
La energía cinética del resorte	4/25

Fuente propia

A partir del interés acerca de las manifestaciones de los estudiantes en las repuestas dadas no adecuadas, en la Tabla 3 se muestran las preguntas formuladas (Anexo 1), las repuestas no adecuadas dadas por más de un estudiante, y el número de estudiantes (frecuencia absoluta) que dió cada una de dichas respuestas.

Tabla 3: Tipos de respuestas no adecuadas dadas por los estudiantes a las preguntas formuladas sobre un resorte ideal y frecuencias absolutas

Respuestas no adecuadas dadas por los estudiantes al ítem 2	Frecuencias absolutas mayores que uno de respuestas no adecuadas dadas por los estudiantes
¿Cuáles son las fuerzas que actúan sobre el resorte?	
Fuerza de restitución	19
Peso (sin especificar)	11
Peso del cuerpo	11
Tensión	4
Una fuerza hacia abajo para estirar el resorte	3
No contesta	3
Diagrama de cuerpo libre del resorte	
Se dibuja un punto sobre el que se representa, a través de flechas verticales, la fuerza de restitución apuntando hacia arriba y una fuerza peso (sin especificar) hacia abajo	5
Se representa el cuerpo que cuelga del resorte y sobre el mismo se dibujan dos flechas verticales: la fuerza de restitución apuntando hacia arriba y el peso del cuerpo hacia abajo	5
Se dibuja un punto sobre el que se representa, a través de flechas verticales, la fuerza de restitución apuntando hacia arriba y el peso del cuerpo hacia abajo	4
No contesta	3
¿Cuánto vale la resultante?	
No contesta	7
Se contesta que es cero en el equilibrio	5
Se menciona que es igual a la masa por la aceleración	3
Se suman las componentes en un eje vertical	3
Sólo se explicita la relación $-Kx$	3
¿Cuánto vale la energía potencial gravitatoria del resorte?	
Sólo se explicita la expresión $m.g.h$	8
Se contesta sobre la energía potencial elástica	6
No contesta	3
Se alude al intercambio de energía en un sistema oscilante	2
¿Cuánto vale la energía cinética del resorte?	
Sólo se explicita la expresión: $\frac{1}{2} m.v^2$	9
No contesta	5
Se alude al intercambio de energía en un sistema oscilante	2

A partir de los resultados presentados en la tabla anterior se puede inferir que la conceptualización que han logrado estos estudiantes, acerca de la idealización de los resortes considerados sin masa, es escasa. Ninguno de los mismos pudo identificar correctamente las fuerzas ejercidas sobre el resorte, lo cual refuerza los resultados de la vasta investigación sobre las dificultades en la comprensión por parte de los

estudiantes de la tercera ley de Newton, ni representar adecuadamente el diagrama del cuerpo libre. La mayoría de los estudiantes, al constestar sobre las fuerzas que actúan sobre el resorte, identificó a la fuerza de restitución (19 estudiantes) o “...la fuerza de la ley de Hooke...” con una flecha hacia arriba, y a la fuerza peso del cuerpo (11 estudiantes), o a una fuerza peso sin especificar a qué sistema corresponde -al cuerpo o al resorte- (igual número de estudiantes), representada por una flecha apuntando hacia abajo. Sólo un alumno mencionó a la fuerza que sostiene al resorte del techo. Respecto a la fuerza resultante, si bien algunos estudiantes contestaron mencionando que es cero en el equilibrio (5 estudiantes), otros aludiendo a la segunda ley de Newton, contestaron que la suma vectorial de las fuerzas es igual a la masa por la aceleración (3 estudiantes), y otros plantearon sólo la suma de las componentes de las fuerzas en un eje vertical (igual número de estudiantes). Ningún alumno contestó que dicha sumatoria es nula si el resorte es considerado de masa despreciable.

Con respecto a la energía potencial gravitatoria del resorte, se encontró que 5 estudiantes contestaron adecuadamente que la misma es nula en un resorte ideal en el que la masa se considera despreciable y 4 contestaron de igual manera sobre la energía cinética aludiendo a dicha consideración. Con respecto a la energía potencial gravitatoria del resorte, se observó que 8 estudiantes sólo escribieron la expresión teórica $m.g.h$, y 6 contestaron sobre la energía potencial elástica. En relación a la energía cinética 9 estudiantes contestaron explicitando sólo la expresión teórica. Las respuestas de 2 estudiantes aludieron al intercambio de energía cinética y potencial elástica en una masa oscilante.

Estas respuestas evidenciaron un déficit conceptual en los estudiantes en lo referido al comportamiento físico del resorte, particularmente en lo que atañe a la comprensión de la hipótesis de resorte de masa despreciable, tanto desde punto de vista dinámico como energético.

Lo anterior, sumado a lo observado en las clases de consulta de resolución de problemas sobre las dudas que presentan los estudiantes al abordar situaciones que involucran resortes en serie, dio lugar al interés de los autores de este trabajo a indagar acerca de cómo es tratada esta idealización en los LT más frecuentemente recomendados a los estudiantes (Tabla 1). En el Anexo 2 se transcribe una síntesis del análisis realizado para cada LT que conforma la muestra.

Se investigó en los LT la manera en que los autores de los mismos tienen en cuenta la idealización estudiada, si explicitan el diagrama del cuerpo libre del resorte y si se alude a dicha idealización en las consideraciones energéticas.

Con respecto a la manera en que los autores tienen en cuenta la idealización de resorte con masa despreciable, se consideró que lo hacen de manera explícita cuando la presentan a través de texto escrito, y de manera implícita cuando al abordar una situación tratan a los resortes como de masa despreciable sin ningún tipo de referencia escrita. Los resultados encontrados se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4: Manera en que se manifiesta la simplificación de resorte de masa despreciable en los libros de texto analizados

Autores del libro de texto	Manera en la que se manifiesta la hipótesis de resorte de masa despreciable
Alonso y Finn	Implícita
Gettys, Keller y Skove	Explícita
Resnick, Halliday y Krane	Explícita
Roederer	Implícita
Sears, Zemansky, Young y Fredman	Explícita
Serway y Jewett	Implícita
Tipler y Mosca	Implícita

En la Tabla 4 se observa que sólo en tres de los siete LT analizados (3/7), se presenta explícitamente la idealización consistente en considerar a los resortes de masa despreciable, en los cuatro restantes, si bien se presentan desarrollos de situaciones en las que no se considera la masa de los mismos al escribir relaciones entre variables, dicha consideración no es mencionada en forma textual por los autores de los LT.

Mediante una profundización del estudio realizado, se indagó si, en los capítulos iniciales correspondientes a Dinámica y Energía, en las situaciones presentadas a modo de ejemplos resueltos los autores de LT explicitan, por un lado los diagramas de cuerpo libre de los resortes, y por otro, si se menciona que en las transformaciones energéticas los resortes considerados de masa despreciable no pueden adquirir energía cinética, ni potencial gravitatoria bajo las condiciones de idealización. Los resultados se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5: Aspectos relacionados a los tratamientos dinámico y energético de los resortes en los libros de texto analizados

Autores de los libros analizados	Se explicita el diagrama del cuerpo aislado del resorte	Se explican las derivaciones energéticas de suponer a los resortes de masa despreciable
Alonso y Finn	No	No
Gettys, Keller y Skove	No	No
Resnick, Halliday y Krane	Sí	No
Roederer	No	No
Sears, Zemansky, Young y Fredman	Sí	No
Serway y Jewett	No	No
Tipler y Mosca	No	No

Fuente propia

Se destacan los LT cuyos autores son: Resnick, Halliday y Krane; y Sears, Zemansky, Young y Fredman, en los que se presenta el diagrama del cuerpo aislado del resorte, y se explican las consecuencias dinámicas de suponerlo de masa despreciable.

Respecto al análisis del tratamiento de los resortes en los capítulos dedicados a Energía, se encontró que en ninguno de los LT analizados se explicitan consideraciones acerca del hecho consistente en que si se idealizan los resortes con masa despreciable, estos sistemas no son capaces de adquirir energía cinética ni potencial gravitatoria, pudiendo sólo acumular energía potencial elástica.

CONCLUSIONES E IMPLICANCIAS PARA LA ENSEÑANZA

Los resultados encontrados dan lugar, por un lado, a remarcar las recomendaciones de Massa et al. (1997) relativas a la necesidad de explicitar, en las clases de resolución de problemas, en el camino de resolución, los principios físicos involucrados, sus límites de validez y la posibilidad real de la situación planteada, y por otro, hacer una cuidadosa selección de los LT que recomiendan a sus estudiantes.

A partir de los interrogantes planteados por los estudiantes, de las dudas observadas no sólo en diversas clases, sino también manifestadas en lo equívocos presentes en exámenes finales cuando se presentan a los mismos situaciones que requieren aislar un resorte para su estudio, se puede afirmar que los estudiantes no han construido representaciones adecuadas sobre el comportamiento físico de los resortes sin masa.

De lo anterior surgen cuestionamientos sobre el significado incierto que los estudiantes pueden construir acerca de las idealizaciones que se realizan en la enseñanza de contenidos para simplificar el tratamiento de sistemas físicos, a los que se aplican las leyes y relaciones que se estudian en los temas de Mecánica, aunque al generalizado entender de los docentes dichas simplificaciones no deberían presentar ningún obstáculo a los estudiantes. Se acuerda con lo que señalan Alcocer et al. (2004), al decir que una explicación más simple no siempre es una explicación más adecuada, o más fácil de entender.

Respecto a los LT, se observó que en algunos de los que forman parte de la muestra analizada, los autores no profundizan en las descripciones de las simplificaciones que proponen para facilitar el estudio de ciertos sistemas físicos como son los resortes, siendo que los mismos forman parte de un número apreciable de ejemplos y problemas desarrollados.

En los LT se abordan y se explican adecuadamente casos en los que los resortes se comportan según la ley de Hooke, es decir con comportamiento elástico. En Dinámica, el resorte es concebido como un sistema sin masa que es fuente de fuerza variable, no obstante, no todos los autores de LT explicitan el diagrama del cuerpo aislado del resorte, en el que la suma de las fuerzas actuantes debe ser necesariamente nula. Es así, que los estudiantes pueden encontrar obstáculos al relacionar, a partir de la segunda ley de Newton, las distintas masas vinculadas a través de resortes dispuestos en serie, que frecuentemente conforman sistemas físicos reales que se abordan en ejemplos o problemas.

Con respecto al comportamiento energético del resorte, en los LT se presenta adecuadamente el trabajo de la fuerza del resorte, o de la que se ejerce sobre el mismo, a través de la integral de línea de alguna de estas fuerzas en sucesivos estados de equilibrio. Sin embargo, son escasas las explicaciones cualitativas presentes en los LT analizados que pueden propiciar la comprensión por parte de los estudiantes del comportamiento energético de estos sistemas, como acumuladores sólo de energía potencial elástica, ya que si su masa es depreciable no pueden ser considerados con energía cinética ni potencial gravitatoria. Se sostiene que a partir de lo anterior no se estaría propiciando en los estudiantes la construcción de conocimientos que permitan una reconstrucción de los mismos al abordar en cursos posteriores el comportamiento de capacitores en circuitos eléctricos con corriente continua.

Los resultados de este trabajo deberían alertar a los docentes de los diversos niveles educativos sobre la necesidad de poner en evidencia, a través de tareas que faciliten la comprensión por parte de los estudiantes (Ledesma y Pocoví, 2013), las connotaciones físicas derivadas de las idealizaciones que se realizan para estudiar de manera más simple algunos sistemas físicos, las cuales más que simplificar pueden convertirse en verdaderos obstáculos para la comprensión por parte de los estudiantes.

Agradecimientos:

Se agradece a la Universidad Nacional del Litoral (Argentina) por el apoyo para la realización de este trabajo en el marco de los proyectos CAI+D 2011 códigos: 50120110100098LI y 50120110100270LI.

REFERENCIAS

- Alcocer, L., Carrión, R., Alonso, J. J., & Campanario J. M. (2004). Presentaciones aparentemente arbitrarias de algunos contenidos comunes en libros de texto de física y química. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 3(1), 98-122. Recuperado de reec.uvigo.es/volumenes/volumen3/REEC_3_1_6.pdf
- Ausubel, D., Novak, J., & Hanesian, H. (1991). *Psicología Educativa, un punto de vista cognitivo. Reimpresión*. México: Trillas.
- Bardin, L. (1996). *El análisis de contenido*. Madrid: Akal.
- Catalán, L., Caballero Sahelices, C., & Moreira, M. (2009). Los libros de texto usados por los alumnos para el aprendizaje del campo conceptual de la inducción electromagnética. *Latin American Journal of Physics Education*, 3(3), 656-664. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3694182.pdf>
- Concari, S., Pozzo, R., & Giorgi, S. (1999). Un estudio sobre el rozamiento en libros de física de nivel universitario. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 273-280. Recuperado de <http://www.raco.cat/index.php/ensenanza/article/viewFile/21578/21412>
- Concari, S., & Giorgi, S. (2000). Los problemas resueltos en textos universitarios de física. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(3), 381-390. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/13267995.pdf>
- Concari, S. (2000). El modelado y la resolución de problemas: ejes para la enseñanza de la física para ingenieros. Recuperado de <http://www.unrc.edu.ar/publicar/cde/05/Concari.htm>
- Concari, S. (2001). Las teorías y los modelos en la explicación científica. Implicancias para la enseñanza de las ciencias. *Ciência & Educação*, 7(1), 85-94. Recuperado de http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-73132001000100006

- Concari, S. (2002). El enfoque interpretativo investigación en educación en ciencias. *Revista Ensaio: Avaliação y Políticas Públicas em Educação*, 10(36), 315-330.
- Forjanm M., & Sliško, J. (2014). Simplifications and idealizations in high school physics in Mechanics: a study of Slovenian curriculum and textbooks. *European J. of Physics Education*, 5(3), 20-31. Recuperado de <https://eric.ed.gov/?id=EJ1051489>
- Giacosa, N., Zang, C., Giorgi, S., Maidana, J. & Such, A. (2013). Circuitos resistivo-inductivos en corriente continua: análisis de su tratamiento en libros de texto del ciclo básico universitario. *Revista Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 30, 253-286. [DOI:10.5007/2175-7941.2013v30n2p253](https://doi.org/10.5007/2175-7941.2013v30n2p253)
- Giorgi, S., Cámara, C., Marino, L., Carreri, R., & Bonazzola, M. (2014). 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*, 26(Extra), 145-156.
- Giorgi, S., Cámara, C., Marino, L., & Carreri, R. (2017). 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. *Revista Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 34(2), 414-434. [DOI:10.5007/2175-7941.2017v34n2p414](https://doi.org/10.5007/2175-7941.2017v34n2p414)
- King, C. (2010). An analysis of misconceptions in science textbooks: Earth science in England and Wales. *International Journal of Science Education*, 32(5), 565-601. [DOI:10.1080/09500690902721681](https://doi.org/10.1080/09500690902721681)
- Ledesma, L., & Pocoví M. C. (2013). Ontología del concepto de aceleración: su comprensión mediante el aprendizaje a partir de textos. *Latin American Journal of Physics Education*, 7(1), 68-78.
- Marino, L., Giorgi, S., Cámara, C., & Carreri, R. (2016). 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*, 28(Extra), 127-136. Recuperado de <http://www.sief13.unsj.edu.ar/wp-content/uploads/2016/09/20.pdf>
- Marino, L., Giorgi, S., Cámara, C., & Carreri, R. (2015). Controversias en el tratamiento del movimiento oscilatorio armónico en libros de física del nivel básico universitario. *Revista de Enseñanza de la Física*, 27(Extra), 79-87. Recuperado de <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/12589/12866>
- Massa, M., Sánchez, P., & Llonch, E. (1997). El problema en un coloquio integrador: un estudio exploratorio. In *Memorias X Reunión Nacional de Educación en Física*. Mar del Plata: APFA.
- Otero, J. (1990). 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*, 8(1), 17-22. [DOI:10.1590/S0100-40422010000600033](https://doi.org/10.1590/S0100-40422010000600033)
- Pocoví, M., & Hoyos, E. (2011). Corriente de desplazamiento: su presentación en textos y su comprensión por parte de los estudiantes. *Enseñanza de las Ciencias*, 29(2), 275-288. [DOI:10.5565/rev/ec/v29n2.145](https://doi.org/10.5565/rev/ec/v29n2.145)
- Treagust, D., & Duit, R. (2009) Multiple Perspectives of Conceptual Change in Science and the Challenges Ahead, *Journal of Science and Mathematics Education in Southeast Asia*, 32(2), 89-104. Recuperado de [http://www.recsam.edu.my/R&D_Journals/YEAR2009/dec2009vol2/multipleperspectives\(89-104\).pdf](http://www.recsam.edu.my/R&D_Journals/YEAR2009/dec2009vol2/multipleperspectives(89-104).pdf)

Recebido em: 29.03.2017

Aceito em: 01.09.2017

ANEXO 1

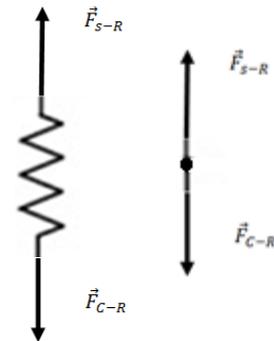
1. Justificar el tipo de movimiento que adquiere un cuerpo colgado de un resorte ideal vertical cuando es apartado de su estado de reposo, estirando o comprimiendo el resorte, y se lo deja en libertad. Dar la expresión del periodo de oscilación.
2. Para el resorte de ítem anterior determinar y fundamentar brevemente:
 - a. ¿Cuáles son las fuerzas que actúan sobre el resorte? Hacer el diagrama del cuerpo libre.
 - b. ¿Cuánto vale la energía potencial gravitatoria del resorte?
 - c. ¿Cuánto vale la energía cinética del resorte?

Respuestas esperadas al ítem 2.

a. Las fuerzas que actúan sobre el resorte son: la que ejerce el soporte del cual está agarrado \vec{F}_{S-R} y la que ejerce el cuerpo suspendido del mismo \vec{F}_{C-R} .

Por la segunda ley de Newton $\sum \vec{F} = m\vec{a}$, ya que la masa del resorte es despreciable la resultante es nula.

b. y c. Ya que un resorte ideal es de masa despreciable tanto su energía potencial gravitatoria como su energía cinética son nulas.



ANEXO 2

Alonso y Finn

Capítulo 8: Trabajo y Energía. 8.4 Unidades de Trabajo y Potencia. Ejemplo 8.3 (pág. 208): se pide calcular el trabajo necesario para estirar un resorte vertical del que cuelga un cuerpo. En la solución se explica: “Se ha verificado experimentalmente que para extender un resorte una pequeña distancia x sin aceleración, se necesita una fuerza proporcional a la distancia... Si el resorte es extendido sin aceleración, él reacciona con una fuerza igual y opuesta. Este es el principio del resorte o dinamómetro, comúnmente usado para medir fuerzas....Para extender el resorte una distancia x , sin aceleración, aplicamos ahora una fuerza $F = Kx$. Lo podemos hacer halando lentamente una cuerda atada al resorte. La fuerza crece constantemente al aumentar x ...”. Se plantea y resuelve la integral mostrando el resultado $W = 1/2Kx^2$ sin analizar los sentidos de la fuerza y del desplazamiento. Nada se menciona acerca de la masa del resorte. Se muestran ejemplos resueltos (8.5 y 8.6; pág. 211) en los que se abordan resortes horizontales que sujetan cuerpos, en las transformaciones energéticas no se menciona la masa del resorte. Tampoco se lo hace en los problemas propuestos de final de capítulo (8.41, 8.42 y 8.43 de pág. 237, y 8.52 de pág. 238).

Capítulo 12: Movimiento Oscilatorio. 12.10 Osciladores acoplados: se analiza el caso de dos masas intercaladas entre tres resortes horizontales. No se hace mención acerca de las masas de los resortes (pág. 380 a 384). Lo mismo sucede con los problemas propuestos de final de capítulo (12.14 -pág. 400-; 12.58, 12.61y 12.62 -pág. 404-).

Gettys, Keller y Skove

Capítulo 5: Leyes de Newton para el movimiento. Ejemplo 5.5 (pág. 100): se plantea el caso de dos carretillas sobre una superficie horizontal sin rozamiento con dos resortes intercalados. Se analizan dinámicamente las carretillas sin hacer mención alguna a los resortes.

Capítulo 8: Trabajo y Energía. 8.4: Trabajo realizado por una fuerza variable. Se menciona la fuerza ejercida por un muelle sobre un objeto, se plantea el trabajo como una integral. Se trata el trabajo de la fuerza

que ejerce el muelle. Ejercicios sección 8.5. Teorema de la energía cinética (pág. 194): el ejercicio 8.25 involucra un resorte y no se hace mención sobre su masa.

Capítulo 9: Conservación de la energía. Energía potencial elástica. Ejemplo 9.3 (pág. 203): se aborda un sistema formado por un cuerpo y un resorte horizontal. No se realizan consideraciones acerca de la masa del resorte en las transformaciones energéticas. Lo mismo en todo el material presentado en el capítulo. En el enunciado del ejemplo resuelto 9.5 (pág. 208) se aclara que la masa del muelle es despreciable; sin embargo, no se tiene en cuenta en la solución presentada. En la pregunta 9.15 (pág. 218) se pregunta sobre las transformaciones energéticas en un resorte, nada se menciona acerca de su masa. Algo similar ocurre con los ejercicios 9.3, 9.5, 9.8 (pág. 219), 9.9 y 9.10 (pág. 220), 9.24 (pág. 221), 9.25 y 9.32 (pág. 222); y con los problemas 9.1, 9.2 y 9.3 (pág. 223), 9.10 (pág. 225).

Resnick, Halliday y Krane

Capítulo 3: Fuerza y las leyes de Newton. Apartado 3.6: Tercera ley de Newton. En el Ej. 4 “Bloque suspendido de un resorte” (Fig. 3.13, pág. 52), para el caso de un cuerpo suspendido verticalmente de un resorte fijo al techo se plantea el diagrama de cuerpo libre para el resorte elongado, en el cual aparecen graficados la reacción del cuerpo sobre el resorte (F_{RB}) aplicada en el extremo inferior del resorte, el peso del resorte (F_{TB}) aplicado en el centro del resorte “generalmente despreciable” (pág. 51) y la tracción que el techo ejerce sobre el resorte (F_{R1}) aplicado en el extremo superior del resorte.

Capítulo 17: Oscilaciones. Apartado 17.2 El oscilador armónico simple. Las Ecs. 17.2 y 17.3 corresponden a la fuerza y a la energía potencial de un resorte ideal de constante de fuerza k que es estirado o comprimido una distancia x respecto a su posición de equilibrio. $F(x) = -kx$ (Ec. 17.2, pág. 375) y $U(x) = \frac{1}{2}kx^2$ (Ec. 17.3, pág. 375). Por lo tanto “un cuerpo de masa m vinculado a un resorte ideal con constante de fuerza k y libre de moverse sobre una superficie horizontal sin fricción es un ejemplo de un oscilador armónico simple”. En la Fig. 17.5 (pág. 375) se representan las posiciones del cuerpo en una oscilación completa y los valores de $F(x)$, $v(x)$ y $a(x)$. En dicha representación no se realiza el diagrama de cuerpo libre del resorte, ni se considera su propia masa. Solo se considera la masa m vinculada al extremo del resorte. Apartado 17.7 Movimiento armónico amortiguado (pág. 385): En los casos de osciladores reales se observa una pérdida temporal de la amplitud de oscilación. Esta pérdida de amplitud recibe el nombre de amortiguamiento y al movimiento se le llama “movimiento armónico amortiguado”. Durante la deducción de las ecuaciones de este movimiento se analiza un oscilador representado por un bloque vinculado a un resorte que desliza horizontalmente sin fricción con la superficie, siendo su amortiguamiento originado por las fuerzas viscosas de un líquido en el cual se desplaza un aspa unida al bloque (Fig. 17.17, pág. 386). Apartado 17.9. Oscilaciones de dos cuerpos: El sistema puede ser representado por dos cuerpos que pueden moverse libremente conectados por un resorte horizontal (Fig. 17.21a, pág. 389). En dicha Figura no se realiza el diagrama de cuerpo libre del resorte, sino que se grafican las acciones de los extremos del resorte sobre ambos cuerpos. Mientras sobre el cuerpo 1, de masa m_1 el resorte ejerce una fuerza $-F$, sobre el cuerpo 2 de masa m_2 ejerce una fuerza F (con $m_2 > m_1$). El sistema se reduce a un resorte unido a un extremo fijo y en cuyo extremo hay una masa “reducida” $m = (m_1 \cdot m_2) / (m_1 + m_2)$ sometida a la fuerza elástica F ejercida por el resorte.

Roederer

Capítulo 3. Dinámica del punto material. f) Interacciones elásticas, reacciones de vínculo y fuerzas de frotamiento. Se señala que: “Un ejemplo (ideal) de interacción elástica es el de dos masas vinculadas con un resorte estirable indefinidamente y de longitud propia nula. En este caso, la constante k depende exclusivamente del resorte, y se llama “constante elástica” del resorte”. Se explicita que $f = -k \Delta r$ y se aclara que es válida para elongaciones Δr pequeñas (pág. 85). g) Movimiento oscilatorio armónico. Se presenta a un cuerpo que cuelga de un extremo de un resorte vertical. No se señalan consideraciones acerca de las propiedades del resorte (pág. 88). i) Discusión cualitativa de un movimiento con frotamiento. Se analiza el caso de un cuerpo apoyado sobre una cinta transportadora horizontal que se mueve con velocidad constante y hay un resorte con uno de sus extremos sujeto al cuerpo y otro extremo sujeto a la pared. Con respecto al resorte, sólo se explicita la fuerza sobre el cuerpo (pág. 96).

Capítulo 4. Teoremas de conservación. j) Colisiones: Se presentan los distintos tipos de choques y se menciona: “En la práctica es posible, en muchos casos predecir cuándo una colisión va a ser elástica o plástica con sólo conocer el mecanismo de interacción cualitativamente. Por ejemplo, dos carritos que chocan entre sí, con resortes perfectos, lo harán en forma perfectamente elástica “...pues los elásticos devolverán toda la energía potencial acumulada durante la compresión inicial...” (pág. 151). No se aclara el significado de “perfecto”, y en las consideraciones energéticas no se explicita que la masa del resorte es despreciable.

Sears, Zemansky, Young, Fredman

Capítulo 6: Trabajo y energía. 6.1 Trabajo de una fuerza variable. Trabajo efectuado por una fuerza variable, movimiento rectilíneo. En la pág. 193 se plantea que *“Para mantener un resorte estirado una distancia x más allá de su longitud sin estiramiento, debemos aplicar una fuerza de igual magnitud en cada extremo (figura 6.18). Si el alargamiento x no es excesivo, vemos que la fuerza aplicada al extremo derecho tiene una componente x directamente proporcional a x : $F_x = kx$ ”* Ec. 6.8 (pág. 193). Se aclara que la afirmación de que *“el alargamiento (no excesivo) es proporcional a la fuerza”* se denomina Ley de Hooke y sus límites de validez se analizan en el capítulo 11. En la Fig. 6.18 se realiza un esquema del resorte ideal horizontal, en el cual se grafican las fuerzas $-F_x$ aplicada al extremo izquierdo y la Fuerza F_x aplicada al extremo derecho. Luego se analiza que *“El trabajo realizado por F_x cuando el alargamiento va de cero a un valor máximo x es: $W=1/2 kx^2$ ”* Ec. 6.9, pág. 193. En la Fig. 6.20 (pág.194) referida al trabajo para estirar un resorte desde una extensión hasta una extensión mayor, no se dibuja ninguna fuerza, y en la Fig. 6.21 (pág. 194) sobre la compresión de un resorte en una báscula de baño, sólo se dibuja la reacción del peso de la persona aplicada en el extremo superior del resorte. Con respecto a los diagramas 6.22 b) y c) (pág.196) sobre un deslizador sujeto a un riel de aire con un resorte, ninguno corresponde al diagrama de cuerpo libre del resorte.

Capítulo 7: Energía potencial y conservación de la energía. En los diferentes ejemplos se considera un resorte ideal y en las figuras de los mismos solamente se dibuja la reacción del resorte sobre el cuerpo solidario al mismo (y sobre el cual se efectúa el análisis energético).

Capítulo 11: Equilibrio y elasticidad. 11.5 Elasticidad y plasticidad. En este apartado se analiza el límite en el cual se cumple la ley de Hooke (límite de proporcionalidad en la cual el esfuerzo aplicado al material produce deformaciones $< 1\%$) y que difiere ligeramente del límite de elasticidad (valor límite del esfuerzo que luego de ser suprimido permite que el cuerpo recupere su longitud original), Fig. 11.18, pág. 369. En la Fig. 11.19 (pág. 369) se presenta el caso del hule el cual a pesar de ser elástico no se comporta según la ley de Hooke.

Capítulo 12: Movimiento periódico. Se introduce el estudio analizando cuerpos de masa m fijos a los extremos de resortes y bajo la acción de la fuerza restitutiva ejercidas por dichos resortes. Los resortes se consideran ideales (cumplen con la ley de Hooke y sin masa). En ninguna de las figuras se presenta el diagrama de cuerpo libre del resorte.

Serway y Jewett

Capítulo 7: Energía de un sistema. En el apartado “Trabajo de un resorte” se define la fuerza que se requiere para estirar o comprimir un resorte dentro de su límite de elasticidad, la cual *“es proporcional a la cantidad de estiramiento o compresión x . Esta ley de fuerza para resortes se conoce como ley de Hooke. El valor de k es una medida de la rigidez del resorte. Los resortes rígidos tienen grandes valores k , y los resortes suaves tienen pequeños valores k ”* (pág. 172), y se define vectorialmente dicha fuerza en la ecuación 7.10 (pág. 172). A partir de la misma se evalúa el trabajo efectuado por la fuerza del resorte sobre un cuerpo de masa m (modelado como partícula), -Ec. 7.12; pág. 172- y el trabajo que una fuerza externa (de igual módulo y opuesta) efectúa sobre el sistema masa - resorte (Ec. 7.13; pág. 173). De este último análisis se deduce la expresión de la energía potencial elástica (Ec. 7.21 y 7.22, pág. 180). El ejemplo 7.5 (pág. 173) presenta cómo evaluar k a partir del método estático. En la resolución algebraica y en el esquema (Fig. 7.11, pág. 173) no figura el peso propio del resorte. En la Fig. 7.16 (pág. 180) se analiza la conversión de la energía cinética en potencial y viceversa. En el apartado “fuerzas conservativas” (pág. 182) se deduce que la fuerza del resorte es conservativa porque el trabajo sólo depende de las coordenadas x , inicial y final del objeto, y es cero para cualquier trayectoria cerrada. En ninguno de los problemas planteados se hace referencia a la masa del resorte.

Capítulo 8: Conservación de energía. Ejemplo 8.8 (pág. 211) “Colisión cuerpo - resorte”. Se analiza el sistema cuerpo – resorte (que se mueven horizontalmente sobre una mesa sin fricción cinética), como el mismo es un sistema aislado sobre el cual la única fuerza que realiza trabajo es la del resorte y como la misma es conservativa se plantea la conservación de la energía mecánica del sistema (tampoco aquí se tiene en cuenta la masa del resorte).

Capítulo 9: Cantidad de movimiento lineal y colisiones. Ejemplo 9.7 (pág. 240) “colisión entre 2 cuerpos y un resorte” (intermedio). Al analizar el ejemplo se supone que *“ya que la fuerza del resorte es conservativa, la energía cinética en el sistema no se transforma en energía interna durante la compresión del*

resorte. Se ignora cualquier sonido hecho cuando el bloque golpea el resorte, clasifique la colisión como elástica”.

Capítulo 15: Oscilaciones y Ondas Mecánicas. Como ejemplo de un oscilador armónico se analiza nuevamente un sistema cuerpo – resorte en el que no se tiene en cuenta la masa del resorte. En el problema propuesto número 23 (pág. 440) se pide comparar las transformaciones energéticas de un sistema cuerpo - resorte (considerado oscilador no amortiguado) con las de un oscilador amortiguado. En el problema 62 (pág. 446) se presenta el caso de un resorte horizontal de masa m y longitud en reposo igual a l , cuyas “porciones” oscilan en fase; la velocidad de cada porción (dx) es proporcional a la distancia de la porción al extremo fijo ($v_x = (x/l) v$) y su masa $dm = (m/l) dx$. Se pide encontrar la energía cinética cuando la rapidez del cuerpo en su extremo es igual a v y al tiempo de una oscilación. En el problema 64 (pág. 447) se considera que el período de oscilación de un cuerpo unido a un resorte considerando la masa del cuerpo y un tercio de la masa del resorte. En los problemas restantes se aclara que se debe considerar despreciable la masa del resorte.

Tipler y Mosca

Capítulo 6: Las Fuerzas de la naturaleza. Apartado 6-5: muelles y cuerdas. Se menciona que *“un muelle puede prepararse arrollando en hélice un trozo de alambre rígido”*. Si se lo comprime o estira y se lo deja en libertad, el muelle vuelve a su posición natural u original, siempre que no se supere un límite a partir del cual el muelle no vuelve a su longitud original. Para pequeñas extensiones o compresiones del muelle o sea *“...pequeños valores de (Δx) la fuerza ejercida por el muelle es aproximadamente proporcional a Δx . Este resultado conocido como ley de Hooke puede escribirse en la siguiente forma: $F_x = -k \Delta x$ ”* (Ec. 6.15, pág. 172) donde K es la constante fuerza del muelle. Se analiza el caso de un cuerpo de masa m sujeto a un muelle horizontal el cual se extiende y se deja en libertad (Fig. 6.6 a y b, pág. 173), con lo cual se origina el movimiento oscilatorio, no se realiza diagrama de cuerpo libre del resorte ni se menciona su masa. Se considera una cuerda flexible estirada, con una constante de fuerza tan grande que su elongación es despreciable. Se aclara que una cuerda flexible no puede oscilar bajo compresión ya que *“...simplemente se dobla o encorva”*.

Capítulo 8: Energía potencial y Fuerzas conservativas. A partir del ejemplo 8.2 (pág. 227) se determina la función energía potencial asociada a un muelle con una fuerza proporcional al estiramiento. En el apartado 8.8: Equilibrio y energía potencial en una dimensión, se calcula la fuerza del muelle a partir de la energía potencial almacenada en el mismo (pág. 237).

Capítulo 9. Conservación de la energía. En el ejemplo 9.5 (pág. 261) se analiza una masa m conectada a un muelle sobre una mesa horizontal lisa, sacada del equilibrio y luego dejada en libertad. En la Fig. 9.6 se muestra cómo varía la energía potencial asociada al muelle, y que la energía mecánica permanece constante (pág. 262): Al analizar la expresión de la energía cinética se observa que sólo se contabiliza la masa del cuerpo unido al muelle.

Capítulo 14: Oscilaciones. Apartado 14-3 masa situada sobre un muelle. En los análisis que se presentan (tanto con la masa apoyada sobre una superficie horizontal, como colgando verticalmente del muelle), no se consideran la masa del resorte, ni se realiza el diagrama de cuerpo libre del resorte.

Capítulo 15. Oscilaciones forzadas y amortiguadas. En el apartado 15.1: Oscilaciones amortiguadas, se considera una masa m colgando de un muelle, pero el amortiguamiento no proviene de la fricción natural del resorte, sino de un émbolo solidario al cuerpo que se desplaza inmerso en un fluido. Tampoco se considera la masa propia del resorte.