

Experiencia de construcción para el laboratorio de física: la energía potencial elástica en la motorización de un móvil

Construction experience for the physics laboratory:
Elastic potential energy in the motorization of a
mobile

Ernesto Cyrulies ^{1*}, Horacio Salomone ²

¹ Instituto del Desarrollo Humano. Universidad Nacional de General Sarmiento.

² Instituto de Industria. Universidad Nacional de General Sarmiento.

*E-mail: ecyrulie@campus.ungs.edu.ar

Recibido el 12 de septiembre de 2023 | Aceptado el 12 de diciembre de 2023

Resumen

Se presenta un trabajo de diseño y construcción de un prototipo para la enseñanza de la física utilizado en una práctica de laboratorio en formación docente en la Universidad Nacional de General Sarmiento dentro de una asignatura que promueve el armado de dispositivos para la experimentación. Se detallan aspectos constructivos que pueden facilitar replicarlo bajo ciertas consideraciones. El prototipo fue armado con elementos accesibles y a través de operaciones básicas de taller. Se muestran los resultados de su implementación con un análisis técnico didáctico y de su puesta a prueba en una práctica real abordando contenidos de la física.

Palabras clave: Laboratorio de Física; Construcción de material didáctico; Energía potencial elástica.

Abstract

A work of design and construction of a prototype for the teaching of physics used in a lab work in teacher training at the National University of General Sarmiento within a subject that promotes the assembly of devices for experimentation is presented. Constructive aspects are detailed that can facilitate replicating it under certain considerations. The prototype was assembled with accessible elements and through basic workshop operations. The results of its implementation are shown with a didactic technical analysis and its testing in a real practice addressing physics content.

Keywords: Physics Laboratory; Construction of didactic material; Elastic potential energy.

I. INTRODUCCIÓN

La enseñanza de la física en la actual escuela secundaria plantea grandes desafíos, particularmente cuando se espera una educación acorde a una alfabetización científica que incluya un panorama de la física actual, sus aplicaciones en diversos campos y vinculaciones con la tecnología de uso cotidiano. En este marco, desarrollar un trabajo en el aula o laboratorio que atienda a las prescripciones curriculares y las demandas educativas actuales requiere mayores com-

petencias en los docentes. No sólo deben estar entrenados en estrategias didácticas apropiadas, sino también lo suficientemente informados de situaciones de actualidad que puedan conformar un escenario para el aprendizaje de la física en contexto. A esto se le suma la conveniencia de poder ubicar la enseñanza con relación a un marco tecnológico. Y con relación a esto, los ejemplos concretos que tomen desarrollos propios de la tecnología, otorgan mayores posibilidades para que los alumnos le vean sentido a lo que aprenden de física en la escuela. Dentro de esta descripción, las prácticas experimentales otorgan mayor significatividad al contenido enseñado (Leite y Esteves, 2005; Jaime y Escudero, 2011). Sobre todo, cuando las tareas que se desarrollen están diseñadas como problemas auténticos, particularmente por ser cercanas a la experiencia de los estudiantes y promueven prácticas científicas (Chinn y Malhotra, 2002). Cuando dichas prácticas se realizan con material específico de laboratorio probablemente despierten interés en el alumnado. Las actividades grupales con material concreto situadas en prácticas científicas favorecen un aprendizaje más significativo y permiten explotar mucho más sus potencialidades con la propia actividad de los estudiantes (García Rodríguez y Cañal de León 1995, Fuentes Gallego y García Borrás 2010, Crujeiras Pérez y Jiménez Aleixandre 2015). Cuando, además, son llevadas a cabo con equipos no comerciales o con elementos familiares pueden colaborar en la construcción de una visión contextualizada de la física en la vida cotidiana. Casos particulares son aquellos dispositivos que no fueron concebidos para la enseñanza (un electrodoméstico, por ejemplo) pero se utilizan problematizándola estratégicamente; eso les puede otorgar gran potencialidad didáctica.

Una alternativa de grandes posibilidades es la construcción de dispositivos, aun de diseño básico, por parte de los docentes para sus clases. Esto es de gran valor cuando es escasa la disponibilidad de recursos en los laboratorios didácticos restringiendo fuertemente el aspecto procedimental de la enseñanza y el aprendizaje de la física. Una manera concreta de estimular la construcción de material es hacerlo cuando aún son estudiantes del profesorado. En buena medida eso es posible a través de materiales comunes o de fácil acceso (Cyrulies, 2022). Estas consideraciones técnicas y didácticas resultan muy convenientes cuando involucran un trabajo de diseño ajustado a los propósitos educativos del docente. En ciertas ocasiones, los equipos comercializados pueden no ser adecuados, ya que condicionan la experiencia a las posibilidades de los mismos (Cyrulies y Salomone, 2023). Esta clase de propuestas que incluyen trabajos de diseño, implementadas en la formación docente además pueden considerarse enmarcadas en el enfoque Ciencia, tecnología, ingeniería y matemática (CTIM; en inglés *STEM*). El mismo propone la enseñanza de las ciencias, tecnologías, ingenierías y matemáticas de forma interdisciplinar, donde la rigurosidad de los conceptos científicos es desarrollada mediante actividades didácticas inmersivas aplicadas al mundo real (García Cartagena, Reyes González, y Burgos Oviedo, 2017). En dicho enfoque, la participación activa de los estudiantes hace que su aprendizaje se vuelva más significativo cuando los problemas a resolver se relacionan con situaciones del mundo real (Farrior *et al.*, 2007).

Este es un campo particularmente investigable; nuestro grupo está dedicado al diseño, construcción y evaluación de dispositivos para la enseñanza de la física con diferente complejidad de elaboración. Una línea de nuestro proyecto es la consideración de material reproducible por docentes que se vean interesados y que no requieran operaciones de taller complejas o máquinas herramientas muy específicas, pero conservando una mínima rigurosidad técnica para su uso en el laboratorio. El dispositivo aquí presentado se inscribe en dicho contexto.

Tomamos de Gay y Bulla (2007) un marco de referencia para el análisis del objeto construido que permita a los estudiantes alcanzar cierta visión técnica y crítica del mismo. Los autores proponen, haciendo un análisis objetual y de la relación con el usuario, categorizar a sus aspectos en funcionales, estructurales y tecnológicos. Muy resumidamente plantean, en el caso de los funcionales, cómo el objeto satisface los requerimientos que motivaron su creación haciendo un análisis operativo. Los estructurales refieren al análisis de componentes y sus relaciones. Por último, los tecnológicos consideran los materiales y procesos de fabricación.

Lo anterior configura una idea de síntesis, como una solución con todos los detalles de los elementos del objeto. Según San Zapata (2006), la síntesis se efectúa en parte por creación y en parte por el cálculo y el análisis; se debe además emplear el juicio, la experiencia, los experimentos y la intuición. Estas últimas condiciones probablemente sean las más complejas de desarrollar en el estudiantado en breve tiempo. Así, consideramos conveniente para una secuencia de diseño general adoptar algunas reglas. Tomamos del mismo autor ciertos pasos de diseño. Sostiene que un proceso básico de diseño aplica diversas técnicas y principios científicos con el objeto de determinar un dispositivo con detalles suficientes que permitan su realización y responde a cuatro puntos: 1) definir el problema (más relacionado a objetivos de funcionamiento en nuestro caso); 2) esquema para resolverlo y estudio de factibilidad; 3) diseño preliminar estableciendo características de componentes; y, 4) un análisis general, esquematizando con las especificaciones.

El dispositivo construido se puso a prueba en una práctica de laboratorio de dos clases de 4 horas en una asignatura del profesorado en física de la Universidad Nacional de General Sarmiento (UNGS). La misma tiene por nombre *Laboratorio para la Escuela Secundaria*. En la misma, se promueve en los estudiantes el desarrollo de competencias asociadas al armado de dispositivos didácticos, complementando una formación que también está vinculada al uso de equipos profesionales de laboratorio de la universidad, inclusive utilizados en trabajos de investigación. Una sólida formación en este último campo, no obstante, podría no resolver el dilema de planificar prácticas experimentales

valiosas en instituciones escolares privadas de material de laboratorio. Entendiendo que este es un panorama bastante común, aquella asignatura conforma espacios para la discusión del problema abordando prácticas con dispositivos no comerciales. Estos son construidos por los estudiantes en función de objetivos específicos y también en diferentes ocasiones se recurre a dispositivos modélicos construidos por nuestro grupo para ser puestos a prueba en este y otros espacios formativos. Naturalmente, según sea el caso, se asocia a diferentes estrategias relacionadas con la futura práctica docente de los estudiantes.

Para el caso que nos ocupa, se desarrolló un pequeño móvil motorizado por un sistema elástico capaz de almacenar energía potencial elástica (lo hemos denominado “motor a goma”, nombre utilizado en aeromodelismo). Básicamente es un vehículo de tres ruedas, las dos traseras motrices, tal vez con características que invitan a un uso lúdico, lo que puede ser capitalizado en la enseñanza en la escuela (figura 1). Su uso en las clases tuvo como propósito principal entrenar a los estudiantes para posteriores trabajos de diseño de la asignatura con un dispositivo ya construido.



FIGURA 1. Prototipo de “triciclo” construido para experiencias en el laboratorio de física. Puede observarse una (única) banda de goma dispuesta en diferentes direcciones. Con la misma se logra la energía potencial elástica necesaria para la tracción.

II. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

A continuación, damos una breve descripción del diseño y armado de acuerdo a ciertos criterios que detallamos. En esta ocasión la construcción no fue llevada a cabo por los estudiantes. Se introdujo en las clases el prototipo terminado como un modelo de análisis y evaluación de su construcción, luego se desarrollaron prácticas experimentales problematizando algunas situaciones. Se elaboró con materiales disponibles en nuestro lugar por lo cual no se propone una reproducción fiel pero las decisiones de diseño pueden servir para quienes encaren construcciones de este tipo. Es decir que la reproductibilidad la planteamos sobre todo en términos conceptuales.

Se eligió construir el chasis en aluminio a partir de un disipador de electrónica en desuso de gran tamaño. A partir del mismo se le dio forma por medio de aserrado y limado. Su relativo bajo peso es una ventaja que se suma a la gran rigidez que le otorga al ser una estructura metálica. No obstante, por tener un espesor considerable (4 mm) se le practicó una serie de perforaciones para alivianarlo (figura 2). La pieza terminó pesando 122 gramos.

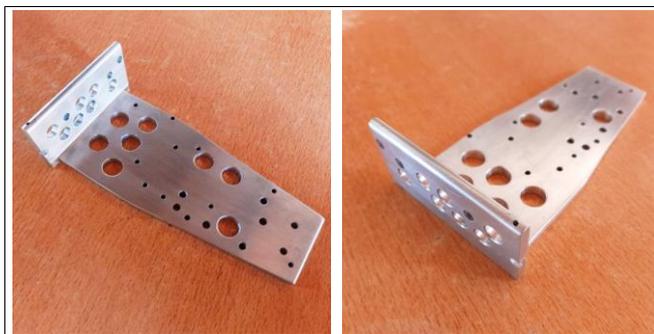


FIGURA 2. Chasis de aluminio construido con un disipador de un equipo electrónico. Las perforaciones de mayor diámetro se hicieron para alivianar la pieza. Las pequeñas tienen como finalidad la sujeción de los componentes.

Para confeccionar las ruedas se decidió cortarlas con mecha de copa en una tabla de MDF (Medium Density Fiberboard) de 13 mm. En su centro perforado se les incorporó, a modo de buje, la pieza metálica roscada de una ficha hembra (banana) de uso en electrónica. En cuanto al diámetro de las ruedas se evaluó cual podría ser el adecuado ya que influye en forma directa en las prestaciones del móvil (aceleración principalmente). En la resolución de la elección

del diámetro fue decisiva la cubierta que se esperaba incorporarle para que cuente con un elevado coeficiente de rozamiento. Así, se eligió utilizar como cubierta cortes transversales de cámara (tubo) de bicicleta. El coeficiente de rozamiento estático medido en pisos convencionales (los estudiantes lo determinaron con experiencias clásicas con dinamómetro) resultó relativamente alto (muy alto en pisos de cemento, alcanzando el valor de 0,95). Como se sabe, la fuerza de rozamiento necesaria para la tracción es proporcional a la normal aplicada. Este concepto se contempló en el diseño preliminar, buscando maximizar su valor en ruedas motrices; como puede verse en la figura 1, se tiene mayor distribución de peso hacia la parte trasera, en parte por una porción en voladizo. Con un peso total de 351 g las mediciones con balanza otorgaron 266 g repartidos en ruedas traseras y 85 g en la delantera.

Un tema decisivo que requería encontrar una solución con elementos simples fue el sistema de acumulación de energía potencial elástica. Una posibilidad era incorporar algún tipo de resorte. Pero complejiza la situación ya que si se desea un desplazamiento razonable de un móvil de cierto peso es preciso contar con la energía necesaria. Si se consigue con el estiramiento (o la compresión) de un resorte, este debe alcanzar gran diferencia de longitud entre sus dos estados de energía (nula y máxima) y esto complica el montaje. Otra opción es un resorte de mayor constante elástica, pero implica más complejidad técnica para transformar un pequeño desplazamiento del resorte en suficiente y sostenida tracción en el móvil. Se realizaron ensayos con diferentes resortes, pero ante las dificultades detectadas se consideró que, en una construcción sencilla que sea replicable como proponemos, resultaría inviable. Se optó entonces por una banda de goma que pueda tener gran cambio de longitud (al enrollarse en un carretel), y para admitir esto una solución fue la incorporación de varias poleas permitiendo, con algunos cambios de dirección, sumar mayor longitud para la banda elástica (se logró 58 cm en total, sin estirar). Como poleas resultó una buena elección utilizar las clásicas ruedas de ventana, estas poseen una garganta externa y cuentan con bolillas a modo de rodamiento que le otorgan buenas condiciones de giro con bajo rozamiento. Luego de algunas pruebas con diferentes cuerdas elásticas, encontramos como muy buena opción recortar una tira fina a lo largo de una manguera de látex que se vende en farmacias como repuesto de nebulizadores (tiene una notable elasticidad, pudiendo sextuplicar su longitud frente a unas tres veces, en el mejor de los casos, de algunas cuerdas elásticas de la industria textil).

Otra característica que nos interesaba incluir en el prototipo es la posibilidad de cambio de relación de velocidad de las ruedas motrices respecto del sistema motor. Nuestra hipótesis fue que con dicha posibilidad de configuración podría darle versatilidad de situaciones de movimiento que aportarían a la problematización de temas de física. Entre las opciones tradicionales para conseguirlo pueden elegirse juegos de poleas, discos en fricción o engranajes (los sistemas de transmisión con ruedas vinculadas por su periferia, son un buen ejemplo para la enseñanza del movimiento circular ya que se tienen velocidades angulares diferentes con una misma velocidad tangencial). Se contaba con cierta disponibilidad de elementos como para elegir una u otra opción; pero se optó por el sistema de engranajes considerando su menor pérdida de energía frente a las demás alternativas y por ser modélico en cuanto a sistemas de transmisión de vehículos reales. Resultaron muy adecuados para este propósito engranajes de impresoras en desuso (figura 3, izquierda). El objetivo se cumplió con el montaje de dos ruedas dentadas de diferentes diámetros (relación 5/6); al poder ser permutadas en sus ejes permiten dos relaciones de velocidad.

Como puede verse en la fotografía de conjunto (figura 3, derecha), el resto de los componentes fueron elaborados con planchuelas de aluminio, varillas trefiladas y algunos pocos elementos de unión.



FIGURA 3. Izquierda: engranajes de la transmisión. Derecha: despiece del prototipo que muestra la totalidad de componentes.

Una operación particularmente útil en la enseñanza es el resultado de cambiar el diámetro del carrete donde enrolla la goma debido a los conceptos que involucra. Unas primeras pruebas con pequeños diámetros (5 y 7 mm) dieron resultados aceptables en prestaciones (aunque con el menor en ocasiones la puesta en marcha se dificultaba). Otras pruebas mostraron que para un valor mayor (10 mm), y con una gran carga energética, las ruedas deslizaban en el arranque (salía “arando” en la jerga automovilística). Esto debido al elevado torque conseguido. Sin embargo, es evidente que el efecto disminuirá con grandes diámetros. Para estos casos, si bien el torque sería aún mayor a partir

de la misma fuerza elástica, la velocidad angular será proporcionalmente menor. Con todo esto, la mayor distancia alcanzada fue de unos 5.6 m (una vez desenrollada la goma se frena rápidamente ya que en este modelo en particular el movimiento comienza a enrollarla en sentido contrario). Lograr grandes distancias es verdaderamente un desafío de diseño en estos armados (y muy interesante de plantear en prototipados escolares con una enseñanza CTIM).

El detalle no trivial con relación a lo anterior es que, enrollando sobre diámetros diferentes para un mismo estiramiento de la goma, se tienen prestaciones distintas. Cambia la aceleración (siempre variable) y las condiciones dinámicas en general, lo que produce diferentes distancias recorridas y en distinto tiempo. Naturalmente, las fuerzas no conservativas además tendrán mayor o menor influencia según el caso. En suma, se tienen aspectos que adquieren centralidad en el diseño de la transmisión. Esto puede ser útil de problematizar en prácticas de laboratorio (el grado de profundidad y complejidad del problema podrá ser una decisión docente). Por razones prácticas para el uso con los estudiantes se optó por el carrete de 10 mm.

Un prototipo como el que se describe puede ser adecuado para la enseñanza de cinemática, de la dinámica y de la energía mecánica. Además, puede utilizarse con diferentes propósitos dentro de una actividad experimental, con mayor o menor apertura, como experiencia demostrativa, con un enfoque por indagación, etc. Inclusive puede utilizarse en el nivel medio o superior. En nuestro caso, como ya se dijo, lo utilizamos y evaluamos su uso en un curso del nivel universitario.

III. PRÁCTICA REALIZADA EN EL LABORATORIO

Como se adelantó, se presentó el prototipo a los estudiantes para ser analizado en términos constructivos en función de posibles objetivos didácticos. La descripción realizada más arriba formó parte de la presentación, la que se combinó con preguntas e intercambios en la clase en virtud de los propósitos formativos de la asignatura.

Se implementó un trabajo práctico de laboratorio sin un elevado grado de apertura dentro de dos clases de cuatro horas. Nuestra intención fue poner al modelo en situación de análisis específico por parte de los estudiantes. Además, claro está, de aportarles una experiencia formativa con el mismo. En este sentido, tomamos de Razzouk y Shute (2012) la idea de que un trabajo de diseño, en un formato que se conoce como Pensamiento de diseño (en inglés, *Design Thinking*) contempla un proceso cognitivo general de creación de prototipos, experimentación, recopilación de comentarios y rediseño. Para Steinbeck (2011), es una lente a través de la cual se pueden observar los retos y solucionar los problemas. De este modo, la práctica constituyó una etapa de entrenamiento promoviendo la discusión sobre el diseño y registro de las interpretaciones estudiantiles. Este planteo se ajusta a lo expresado por Li et al (2019), quienes sostienen que es una perspectiva valiosa que supera posibles restricciones dadas por los límites de la disciplina (física en nuestro caso). En la primera clase se expuso inicialmente, por parte del docente, un breve marco de conceptos teóricos y prácticos sobre diseño y prototipado según los enfoques ya mencionados.

Dado que se trató de una comisión de sólo cinco estudiantes, se conformó un único grupo de trabajo. A continuación, se transcriben las consignas bajo los propósitos mencionados. Se aclara particularmente que, para responder el último punto, a los estudiantes se les facilitó la lectura de algunos extractos de la obra de Gay y Bulla (2007) y la de San Zapata (2006) sobre los aspectos funcionales, estructurales y tecnológicos.

- Se propone caracterizar el móvil construido. Describirlo de acuerdo a los detalles que lo relacionan con conceptos de la física para los que el móvil puede ser de interés en su enseñanza.
- Determinar, con los elementos disponibles, el valor de la aceleración, desde que inicia el movimiento hasta que se detiene. Graficar $a(t)$ e interpretarla según lo que puede deducirse del análisis del vehículo.
- Como puede observarse, posee dos engranajes que pueden ser intercambiados, con lo que se tendrían diferentes condiciones dinámicas (pensar en el torque sobre las ruedas). Repetir la experiencia anterior intercambiándolos y sacar conclusiones.
- Con el estiramiento de la goma queda claro que su tensión aumenta y, en consecuencia, influye en la aceleración. Pero además el diámetro del propio enrollado sobre el eje cambia mientras giran las ruedas. Es decir que el torque se ve afectado por dos factores dinámicos simultáneos bien identificables (fuerza variable sobre un diámetro también variable). Se pide un análisis sobre cómo esto afecta a la tracción.
- Determinar el margen que diferencia la aceleración máxima obtenida de la que podría aplicarse con el coeficiente de rozamiento estático en el piso del laboratorio sin que haya resbalamiento.
- Saquen conclusiones sobre la utilidad del dispositivo para las prácticas experimentales (en aspectos funcionales, estructurales y tecnológicos). ¿Qué mejorarían en el prototipo?

Se solicitó a los estudiantes tomar nota de los registros de las pruebas y discusiones y trabajar en un único documento colaborativo (utilizando Google Drive) con sus intervenciones para conformar un informe del trabajo de la comisión, habilitado por la cátedra desde la primera clase con el dispositivo. Se consideró un buen instrumento para la ocasión dada la particular consigna que podría poner en desventaja a quienes tengan su "visión técnica" menos entrenada. El intercambio que exige la producción de un documento común enriquece a cada uno. Según Vilches y Gil

(2011) un trabajo en grupos conlleva un papel orientador sobre cada estudiante, ayudando a superar errores personales y enriqueciendo los planteamientos individuales iniciales. Como la actividad se realizó completamente en grupo desde el inicio en el laboratorio, se promovió, incluyendo en la confección del informe, la consideración de los puntos de vista de los demás, en sus aspectos cognitivos y emocionales. Esto, según dichos autores, tendría importancia en el desarrollo de competencias individuales y grupales. Aquel recurso online permite, si se lo desea, comprobar la participación de todos (con su historial) y también intervenir en lo que se considere conveniente.

IV. RESULTADOS

El uso del prototipo en una práctica de enseñanza de una materia donde, por los propósitos que la caracterizan, se propone el análisis didáctico del material, fue provechoso. Despertó curiosidad en una primera instancia y estimuló ponerlo a prueba. Se interpretó que resultó atractivo para los estudiantes.

Se realizaron varios ensayos, algunos de familiarización con el dispositivo, luego otros para dar respuestas a la consigna. Se logró caracterizarlo según lo esperado, obteniéndose datos cuantitativos, algunos de los cuales presentamos más abajo. Sobre esto no somos exhaustivos por no considerar que sea lo más relevante de comunicar ya que, obviamente, los valores obtenidos dependen de las características constructivas, de cómo se configura para las pruebas, etc. Entendemos que lo importante es el resultado del análisis de los estudiantes, particularmente conceptual, que generó como propuesta que atiende al diseño en función de propósitos educativos.

En la segunda clase, resultó muy relevante discutir lo que pensaron a partir de las experiencias de la primera y parte de la segunda. Se identificaron momentos clave, que nos convencieron de la fortaleza de la propuesta. El uso compartido del pizarrón fue central para detectar los aciertos y dificultades estudiantiles; permitió comprobar que tenían buen manejo general de las ecuaciones, pero se tuvieron algunas confusiones en el contexto de aplicación "auténtico". Eso resultó un hallazgo: la propuesta les resultó novedosa, pero los desafió en la visión integradora que requería el marco sistémico que relaciona varios conceptos físicos y técnicos en un caso real. Ciertas dificultades podrían estar relacionadas por estar más acostumbrados, en lo experimental, a aplicar sus conocimientos sobre equipos didácticos de laboratorio. Un ejemplo fue que necesitaron algún acompañamiento para el planteo correcto, en términos de los momentos de las fuerzas, en las diferentes etapas del sistema de tracción.

El informe colaborativo de los estudiantes resultó adecuado respondiendo a la consigna. El mismo se completó en un documento de 15 hojas donde desarrollaron conceptos teóricos, incorporaron imágenes y fotografías guiados por el recorrido que proponía la consigna. Tuvo su correspondiente devolución con las observaciones docentes necesarias. Se rescata que la producción resultó una verdadera oportunidad particularmente para evaluar cómo los estudiantes logran pensar, discutir y consensuar sobre un caso real. Al ser tan particular, permitió detectar algunas dificultades, a nuestro entender, propias de la transferencia de aprendizajes y de la interrelación de conceptos identificados. Resaltamos los conceptos físicos que surgieron del análisis y que otorgan potencialidad didáctica al prototipo. Algunos de estos, sumado a ciertos aspectos técnicos, se resumen a continuación.

Para determinar la aceleración en función del tiempo se recurrió a la aplicación *Arduino Science Journal* (aunque sumó la masa de 182 g de un teléfono celular, a los efectos de relevar datos fue una opción interesante de probar), la misma resultó variable, algo que era previsible. No obstante, el dispositivo mostró oscilaciones inesperadas de corta duración que resultaron una oportunidad para su interpretación. Una de varias pruebas se observa en la figura 4.



FIGURA 4. Izquierda: soporte montado al prototipo para sostener un teléfono móvil. Derecha: gráfico de aceleración en función del tiempo, obtenido con la aplicación *Arduino Science Journal* (se instala en dispositivos desde Play Store). Se aprecian marcadas oscilaciones (ver texto). La serie de valores negativos se corresponden con la frenada.

Se adjudicaron varias causas, las principales serían dos: por un lado, el enrollado de la goma en el carretel no es parejo, suele ocurrir que dos vueltas consecutivas tengan diámetros bastante diferentes cambiando rápidamente el

momento de la fuerza; por otro lado, que la goma no se distensiona de modo suave circulando por las poleas. Esto podría estar ocasionado por su sección algo desprolija por ser cortada a tijera. La aceleración resultó más compleja de analizar que lo que se proponía en la consigna, lo que fue adecuadamente modelizado desde el caso ideal propuesto.

Se realizaron algunas filmaciones para la toma de datos. Debido a la relativamente gran distancia recorrida no resulta sencillo lograr buenos videos que otorguen precisión en cuanto a tiempo y posición (puede lograrse si se diseña un montaje “profesional”, el que no fue nuestro caso en una clase de física sin más que teléfonos celulares). Una experiencia sencilla abordada fue determinar la aceleración media en la primera parte de su recorrido (menos de un metro para que el mismo entre en el campo visual de un celular sin perder lectura en una cinta métrica). El límite que impuso el resbalamiento de las gomas estuvo en algo más de 7 m/s^2 . Un buen número considerando el pequeño tamaño del móvil y de sus ruedas.

En la figura 5 pueden verse dos gráficos de los construidos a partir de los datos registrados con videos.

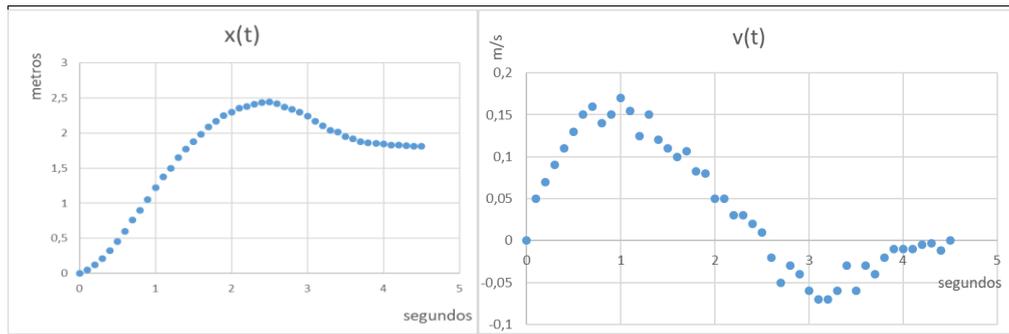


FIGURA 5. Ejemplos de gráficos construidos con Excel por los estudiantes a partir de un video, tomando registro de posición en función del tiempo a partir de los fotogramas. Izquierda: posición en función del tiempo (el retroceso se debe al enrollado en sentido inverso de la goma mencionado en el texto). Derecha: velocidad en función del tiempo construida con el cociente, celda a celda, de los intervalos de posición y temporales. La falta de uniformidad es debida a la escasa precisión del método.

Calcularon el valor de la energía para algunas pruebas (determinando luego la constante elástica con procedimientos tradicionales, suspendiendo pesas) considerando el estiramiento medido de un tramo y extrapolando a la longitud total (pero teniendo en cuenta que la tensión no es la misma en toda la longitud; aquella aumenta en el tramo libre a medida que se enrolla, pero no es transmitida a las primeras vueltas ya “aprimionadas” en el carretel). Con las consideraciones necesarias el valor máximo de energía disponible estimado fue de unos 20 kJ. Para este valor la distancia recorrida fue cercana a 6 m.

Se analizaron las dos relaciones de velocidad posibles. Con el engranaje más grande en el eje de las ruedas se obtiene mayor torque en las mismas y por lo tanto mayor aceleración. Pero con esto, el engranaje pequeño (solidario al carretel) gira más velozmente (misma velocidad tangencial en sus diámetros primitivos) lo que produce un desenrollado más rápido. Invertiendo los engranajes la aceleración es menor, pero se sostiene durante un tiempo mayor. Aun con estas consideraciones podría suponerse que la distancia alcanzada es la misma en ambos casos para idéntica cantidad de vueltas de la goma (misma energía) con tiempos diferentes. Existió confusión con esto, ya que en las primeras discusiones se modelizó como un móvil que desliza con rozamiento, un clásico en la enseñanza donde el trabajo de la fuerza de roce se corresponde con el valor de la energía cinética máxima alcanzada si lo detiene por completo. La clave está en que en el segundo caso el cálculo a partir de las relaciones de transmisión da un desplazamiento 44 % mayor que en el primero, para un mismo cambio de longitud de la goma. En la práctica se registraron en promedio, luego de varias pruebas, distancias un 34% mayores en el segundo caso para la misma carga energética (20 vueltas de carretel).

Estas configuraciones resultaron interesantes de estudiar. Un aspecto a considerar en aquellos resultados es el efecto de las fuerzas no conservativas; su estudio profundo no fue objetivo del trabajo, pero es esperable que operen con distinto grado en ambos casos (por ejemplo, durante el movimiento las fuerzas de rozamiento en ejes no dependerían esencialmente de sus velocidades respecto de los bujes, sí del μ_d , pero actúan durante tiempos distintos).

Se consideró adecuado despreocuparse la energía cinética de rotación de las poleas (giran a baja velocidad, aunque diferente en cada una, por estar en contacto con distintos tramos de la goma). También la de las ruedas, las que al ser de madera tienen un bajo momento de inercia y no adquieren mucha energía en su giro comparándola con la cinética del móvil en su desplazamiento, de gran peso relativo (se calculó para estas últimas arrojando un valor aproximado del 1% sumando la de las tres).

Con relación a la última pregunta de la consigna, los estudiantes propusieron otras formas para obtener datos del movimiento, entre ellas haciendo uso del efecto Doppler con tecnología disponible (Arduino o Smartphone con aplicaciones), las que quedarían por ensayar. También en el informe expresaron sobre posibles variantes que permitan cambiar condiciones en prácticas de laboratorio. Entre ellas, el uso de diferentes materiales para las cubiertas y para el sistema elástico. Un detalle técnico que consideraron para mejorarlo es la incorporación de algún sistema de liberación de la goma cuando ya no tracciona (un trinquete, por ejemplo), lo que permitiría alcanzar distancias mayores (el enrollado en sentido inverso lo frena y lo hace retroceder levemente). Cabe aclarar que para el caso detallado aquí se decidió no incorporarlo para evitar que una mayor complejidad técnica desaliente estas construcciones.

Finalmente, es de destacar que la caracterización del prototipo tuvo gran correlación con varios detalles propios de los vehículos de calle. Esto dio lugar a discutir aspectos de la física centrales en las prestaciones de estos, por ejemplo la necesidad de diferentes relaciones de transmisión, los coeficientes de rozamiento en neumáticos y su relación con los sistemas antibloqueo (ABS), el ancho de los mismos en casos deportivos (pocas veces comprendido), la ventaja de la tracción trasera en dichos casos, la doble tracción, etc. Cabe considerar que el automóvil es omnipresente en la sociedad moderna y, como máquina compleja, brinda numerosas posibilidades para el planteo de problemas de Física (Cyrulies 2017).

V. CONCLUSIONES

Como se comentó, es un escenario bastante habitual la escasez de material para el trabajo en el laboratorio en las instituciones escolares y esto puede desanimar y hasta impedir, el diseño de prácticas experimentales. Esto perjudica a la enseñanza de la física, privando a los estudiantes de situaciones potencialmente atractivas de aprendizaje y de otras oportunidades de conceptualización. Esta situación recurrente puede ser sorteada, al menos para ciertos experimentos, cuando el docente hace uso de materiales y dispositivos de su propio diseño y construcción (más o menos complejas según sus posibilidades). Es conveniente, entonces, generar espacios de oportunidades donde el tema se aborde, se problematice y dé lugar a discusiones técnico didácticas buscando soluciones de interés. Nosotros sostenemos que se crean más soluciones cuando se promueve un pensamiento de diseño orientado a prototipos. Se puede distinguir un trabajo centrado en el desarrollo de habilidades constructivas en los estudiantes (operaciones de taller, por ejemplo) de otro en el cual se ponga la mirada en las posibilidades para la enseñanza de la física relacionándolas íntimamente con los detalles técnicos involucrados. Fue este último el que caracterizó la dinámica de las clases en laboratorio que aquí se detallaron. Conceptualizar y problematizar procesos de diseño (básicos) de dispositivos didácticos en formación docente es un área de muy escaso desarrollo. Claramente es un desafío en ámbitos de formación donde los antecedentes académicos en diseño no son una característica como sí lo son, con otros objetivos, en el caso de carreras de diseñadores profesionales, por ejemplo, el de la ingeniería. En el campo educativo, enfoques que lo introducen son el CTIM y el Pensamiento de diseño y pueden dar herramientas para contemplar su factibilidad en situaciones de enseñanza. Trabajos como el que aquí se describió nos permiten avanzar en una mayor profundización de las experiencias de diseño para tenerlas en consideración en la formación docente en física.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los estudiantes participantes en la materia en 2023 por la buena predisposición en el trabajo que aquí se describió. Esperamos que la práctica haya sido provechosa para su formación.

REFERENCIAS

Chinn, C. A. & Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: a theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86(2), 175-218. <http://dx.doi.org/10.1002/sce.10001>

Cyrulies, E. (2017). Actividades de capacitación docente en física utilizando un automóvil. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 39(4).

Cyrulies, E. (2022). Actividades experimentales virtuales con motores eléctricos en formación docente en física con un enfoque STEM. *Revista Española de Física*, 36(4).

- Cyruilies, E. y Salomone, H. (2023). La construcción de material experimental para enseñar física: resultados de un taller en formación docente. *Nuevas Perspectivas. Revista de educación en ciencias naturales y tecnología*. (En prensa)
- Crujeiras Pérez, B. y Jiménez Aleixandre, M. P. (2015). Desafíos planteados por las actividades abiertas de indagación en el laboratorio: articulación de conocimientos teóricos y prácticos en las prácticas científicas. *Enseñanza de las Ciencias* 33(1), 63-84.
- Farrior, D., Hamill, W., Keiser, L., Kessler, M., Lopresti, P., McCoy, J. & Tapp, B. (2007). interdisciplinary lively application projects in calculus courses. *Journal of STEM Education*, 8(3), 50–63.
- Fuentes Gallego, B. y García Borrás, F. (2010). El alumnado, el gran héroe en pequeños trabajos de investigación. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7(1), 93-106.
- García Cartagena, Y., Reyes González, D. y Burgos Oviedo, F. (2017). Actividades STEM en la formación inicial de profesores: nuevos enfoques didácticos para los desafíos del siglo XXI. *Revista Electrónica Diálogos Educativos*, 18(33).
- García Rodríguez, J. y Cañal de León, P. (1995). ¿Cómo enseñar? Hacia una definición de las estrategias de enseñanza por investigación. *Investigación en la Escuela*, 25, 5-16.
- Jaime, E. y Escudero, C. (2011). El trabajo experimental como posible generador de conocimiento en enseñanza de la física. *Revista Enseñanza de las Ciencias*, 29(3).
- Gay, A. y Bulla, R. (2007). La lectura del objeto. 1ª edición. Córdoba, Argentina: TEC.
- Leite, L. e Esteves, E. (2005). Análise crítica de atividades laboratoriais: Um estudo envolvendo estudantes de graduação. *Revista Eletrônica de Ensino de las Ciencias*, 4(1).
- Li, Y., Schoenfeld, A., diSessa, A., Graesser, A., Benson, L., English, L. & Duschl, R. (2019). Design and Design Thinking in STEM Education. *Journal for STEM Education Research* 2:93–104.
- Razzouk, R. & Shute, V. (2012). What is design thinking and why is it important? *Review of Educational Research*, 82(3), 330–348.
- San Zapata, J. (2006). Diseño de elementos de máquinas I.
- Steinbeck, R. (2011). El «design thinking» como estrategia de creatividad en la distancia. *Comunicar. Revista Científica de Comunicación y Educación*, 37(19), 27-35.
- Vilches, A. y Gil, D. (2011). El trabajo cooperativo en las clases de ciencias: Una estrategia imprescindible pero aún infra-utilizada. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 69, 73-79.