

Aprendizaje del módulo de Young mediante la construcción de un dispositivo a gran escala

Young's modulus learning by building large-scale device

Javier Carro^{1*}, Mateo Marques¹, Facundo Pareja¹, Xamira Moreira¹, Antony Silva¹, Mathías Aleman¹, José Di Laccio^{2,3}

¹ Depto. de Física, Centro Regional de Profesores del Sur, CP 15200, Atlántida, Uruguay.

² Depto. de Física, Centro Regional de Profesores del Litoral, CP 50000, Salto, Uruguay.

³ Depto. de Física, CENUR LN, Universidad de la República, CP 50000, Salto, Uruguay.

*E-mail: javiercarrocodrington@gmail.com

Resumen

Se presenta una experiencia de laboratorio para el aprendizaje de la física que utiliza una metodología de aprendizaje activo. El diseño del dispositivo experimental, la recolección de medidas, el procesamiento y análisis se realiza en un espacio abierto de la institución educativa, accesible y visible para todos los actores educativos. Esta actividad involucra a estudiantes de primer año de profesorado de Física, en la construcción de un dispositivo experimental a gran escala, con la finalidad de determinar el módulo de Young para un alambre de acero galvanizado, a partir del estiramiento que experimenta al ser sometido a una fuerza de tracción. Los estudiantes obtuvieron como resultado un módulo de Young del orden esperado.

Palabras clave: Aprendizaje de física; Metodologías activas; Profesorado de física; Laboratorios; Módulo de Young.

Abstract

The present work analyses a laboratory experience for learning physics by using an active learning methodology. The design of the experimental device, the collection of measurements, the processing and analysis are carried out in an open space within the educational institution premises, both accessible and visible to all educational stakeholders. The activity, with the first-year physics teacher-trainees involves the construction of a large-scale experimental device. Such a device is used to determine Young's modulus of a galvanized steel wire, by the amount of stretch it experiences when subjected to a pulling force. As a result, the students obtained a Young's modulus within the expected value range.

Keywords: Physics learning; Active methodologies; Physics teachers; Laboratories; Young's modulus.

I. INTRODUCCIÓN

La realización de prácticas experimentales (laboratorios) dentro de la formación de profesores de física es esencial, sin embargo, desde hace muchos años está en discusión la metodología a utilizar para su enseñanza (Millar, 1987; Hodson, 1988; Etkina 2002). En muchos centros educativos la forma regular de desarrollar laboratorios obedece a hábitos que vienen de generaciones anteriores de docentes. Muchas de las formas que siguen la tradición no son atractivas ni efectivas para los actuales estudiantes. Las metodologías tienen una fuerte impronta en la enseñanza y son escasas en contemplar complejos procesos personales de aprendizaje. Investigaciones en la enseñanza de la física

proponen maneras alternativas y plausibles de ser exploradas, puesto que han reportado un impacto positivo en su aplicación. Sin embargo, pasar de una forma de trabajo dictada por la tradición a un enfoque basado en investigaciones en la educación en física no es una tarea sencilla. Salir de la zona de confort requiere el “moverse a la acción” y a un nuevo rol de docentes y estudiantes. Al apartarse de las metodologías tradicionales, es deseable ubicar al estudiante en el centro del acto educativo y contar con un rol docente de guía. Los estudiantes aprendiendo a partir de sus experiencias personales en la interacción con el objeto de estudio y sus pares, al realizar procesos que reflejan la práctica científica.

Se presenta una propuesta de laboratorio que, a nuestro entender, se encuentra en el camino medio entre lo canónico y las nuevas metodologías activas. El laboratorio tradicional de determinación del módulo de Young de un alambre se adapta para mejorar la efectividad en el aprendizaje. Los estudiantes construyen un dispositivo a gran escala en un lugar visible y de alto tránsito en la institución y aprenden no solo del tema sino de muchos de los procesos que tiene la ciencia para creer en sus afirmaciones, medir, modelar, comunicar. La elección de la metodología está basada en que, involucrar a estudiantes con compromiso interactivo conduce a mayores ganancias en aprendizaje que los métodos tradicionales de enseñanza (Etkina, 2019).

II. MÓDULO DE YOUNG EN EL PROFESORADO

El estudio de la ley de Hooke y la determinación del módulo de Young se propone en el marco de la unidad curricular (UC) “Principios de Conservación en Mecánica”, del primer año del profesorado de Física del Plan 2023 de Uruguay. El Plan de formación tiene un enfoque competencial y la UC incluye teórico, articulando práctico y laboratorio. La carga horaria semanal total mediada por el docente es de 7,5 h, donde no menos de 2 h se dedican al laboratorio. Los estudiantes, previo a realizar el laboratorio, fueron introducidos al tema.

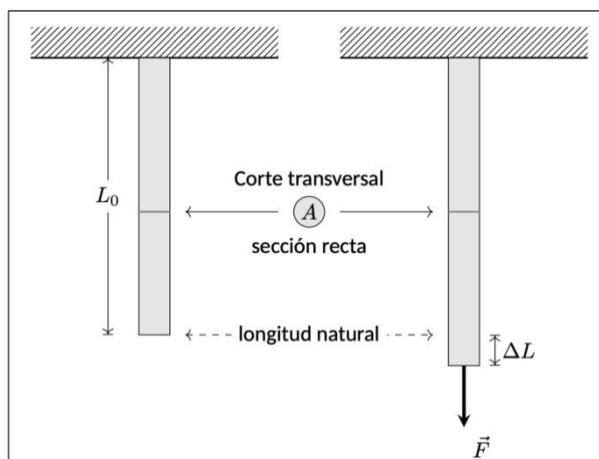


FIGURA 1. Alambre cilíndrico de sección A y largo inicial L_0 que al someterse a la fuerza F produce un estiramiento ΔL .

Cuando un alambre es sometido a una tracción, sufre un estiramiento que, dentro de ciertos límites, puede ser considerado proporcional a la fuerza de tracción aplicada; fenómeno que fue descrito por Robert Hooke de manera más general en su libro *Lectures de Potentia Restitutiva, or of Spring, Explaining the Power of Springing Bodies* (1678). Si se considera un alambre, de sección recta uniforme A y longitud L_0 , que se encuentra fijo en uno de sus extremos; cuando es sometido a una fuerza de magnitud F , experimenta un estiramiento ΔL como se muestra en la figura 1. Se define el esfuerzo de tensión (*stress*) como el cociente entre la fuerza aplicada y el área de la sección recta, $\sigma = F/A$. La deformación unitaria (*strain*) producida por esa tensión es $\epsilon = \Delta L/L_0$. Con las definiciones previas se puede expresar la ley de Hooke (Chabay, Sherwood, 2015; Gil, 2014; García, 2010):

$$Y = \frac{F/A}{\Delta L/L_0} = \frac{\sigma}{\epsilon}, \quad (1)$$

siendo Y el módulo de Young, que puede modelarse como una constante dentro del rango elástico del alambre. En este laboratorio los estudiantes determinan el módulo de Young de dos formas: A) poniendo a prueba el modelo de la ec. (1) y B) como el promedio del cálculo de Y obtenido en cada medición, $\bar{Y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_i$, donde N es el número de datos.

III. LABORATORIO

El equipamiento para el laboratorio es el siguiente: alambre de acero galvanizado 4 a 5 metros, 2 calibres, soportes para el alambre y para los calibres, cinta métrica, balanza (utilizamos una balanza comercial porque está calibrada por el laboratorio tecnológico del Uruguay (LATU)), pesas (hasta 15 kg), índices de posición y artículos misceláneos. El alambre de acero galvanizado tiene diferentes proporciones de acero y zinc que en función de la concentración de acero permiten clasificarlo en: bajo, mediano y alto; dependiendo de las características deseadas.

El dispositivo experimental, ver figuras 2 y 3, consiste de un alambre anclado en un soporte en la parte superior y con la posibilidad de agregar pesas en su otro extremo (inferior). El soporte para el alambre fue construido con caño rectangular de acero de 6x4 cm, con un espesor de 1.5 mm. Los caños se unen con 2 tornillos de 10 mm de diámetro con tuerca y arandela de presión, formando un ángulo recto entre ellos. Esto se hace para que, cuando se sujete a la barandilla con dos prensas sargento, el soporte no rote sobre su punto de apoyo y se mantenga horizontal el vástago del que se ancla el alambre. Como en otras partes del trabajo, es importante resaltar que esta solución es una de las tantas para un mismo problema.

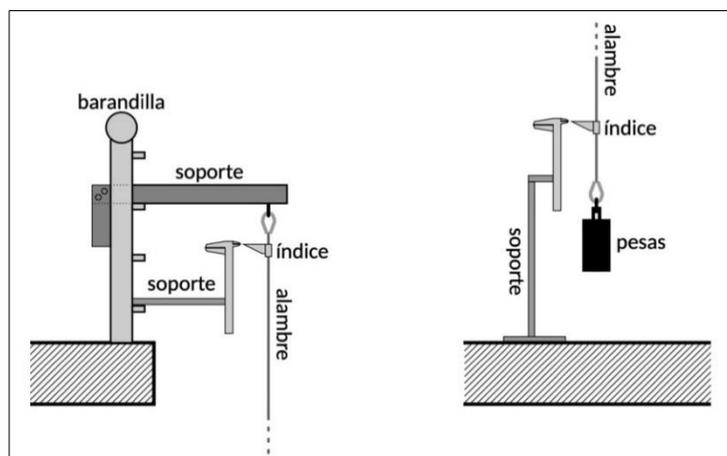


FIGURA 2. A la izquierda parte superior del dispositivo, donde se adhiere fijamente el alambre y se controla un punto fijo con un índice de posición y un calibre. A la derecha se muestra la parte inferior del dispositivo donde se coloca la referencia de estiramiento nulo con otro índice y se dispone otro calibre.

Para montar el dispositivo se debe conseguir un punto de anclaje fijo para el extremo superior del alambre. En nuestro caso utilizamos una barandilla de metal, rígidamente fijada a la estructura, en un tercer piso del centro de estudios, que está sobre un hall que está abierto hasta la planta baja. Esto permitió desplegar un alambre de más de 4 m de longitud, y dado que el estiramiento es proporcional al largo del alambre, se logra reducir la incertidumbre relativa en la medida de ese estiramiento.



FIGURA 3. Foto de la parte inferior del dispositivo experimental donde se aprecia el sujetador de pesas utilizado, junto al grupo de estudiantes dispuestos para el inicio de recolección de medidas de estiramientos al colocar diferentes pesas sobre el alambre.

Los soportes estarán de acuerdo con cómo es armado el dispositivo experimental. En nuestro caso, la barandilla de metal permite colocar un soporte independiente del dispositivo utilizado para sostener el alambre. Esto es relevante para poder detectar si el anclaje cambia de posición, ya que esto implica que se obtienen medidas que no se corresponden con el estiramiento (ΔL), sino con el estiramiento más el cambio de posición. El segundo soporte fue colocado en el piso, de manera de poder medir el cambio en la posición del extremo libre del alambre. En cada uno de los soportes se coloca un calibre con su cero alineado a cada uno de los índices de posición, de modo que un estiramiento del alambre se ve reflejado en el cambio de posición del índice (fijo al alambre) respecto del cero del calibre.

Por lo general, los alambres vienen arrollados por lo que se somete el alambre a una carga inicial para lograr tener el alambre recto y poder tomar las medidas adecuadamente. Para esto la carga inicial fue de aproximadamente 3 kg, que incluye un mosquetón, una cinta de escalada y una pesa. Se hace notar que, salvo la pesa, estos elementos están listados como artículos misceláneos porque no son imprescindibles, sino que fueron incluidos por estar a disposición, pero pueden ser sustituidos por otros.

El método de medida es simple, se coloca una pesa de masa conocida y se mide el estiramiento resultante. Se registran los datos en una tabla en donde se incluyen las medidas de: estiramiento, masa, diámetro y longitud inicial del alambre, así como las incertidumbres para su posterior consideración. Para determinar el diámetro se realizaron 30 medidas a lo largo de toda la longitud L_0 y luego se calculó su promedio y la desviación estándar, que se utilizó como incertidumbre.

Con los datos obtenidos se calcula el peso y área de la sección transversal para obtener el esfuerzo y la deformación unitaria. Además, se calcula punto a punto el módulo de Young. Para la obtención final del módulo de Young se realizan dos procedimientos: A) el ajuste de los datos del gráfico σ vs. ϵ con el método de mínimos cuadrados y B) el cálculo del promedio de los módulos de Young individuales. En cada uno de los casos se estima la incertidumbre en la determinación y se valoran los métodos.

En el proceso de recolección de datos los estudiantes utilizaron los teléfonos móviles para fotografiar sistemáticamente la medida tomada y luego la carga correspondiente, ver figura 4. Esto nos permitió reducir los errores propios de los experimentadores inexpertos, ya que se dispone de un registro para cotejar.



FIGURA 4. Foto del proceso de toma de datos. A la izquierda la medición de la longitud L_0 del alambre. A la derecha la medición del estiramiento del alambre para una de las cargas testeadas.

IV. RESULTADOS DEL EXPERIMENTO

En la figura 5, se presentan sobre un mismo par de ejes el esfuerzo de tensión y deformación unitaria con puntos y el modelo de la ley de Hooke de la ec. (1) con trazo continuo. Las barras horizontales y verticales de incertidumbres que acompañan el punto, fueron calculadas por propagación de incertidumbres de la forma habitual. La inspección visual del gráfico muestra un buen ajuste del modelo. Se observa que tres de las trece muestras obtenidas, $\epsilon \approx (0.16, 0.30$ y $1.69) \times 10^{-3}$, son las que tienen mayor dispersión. Las dos primeras corresponden a las medidas de menor estiramiento y por ende mayor incertidumbre. La tercera es la de menor incertidumbre introducida por el calibre, pero con una incertidumbre mayor del experimentador al registrar la medida, ya que se realizó a través de la lectura de los dos calibres, al ceder el soporte superior. Para el ajuste de los datos se utilizó un modelo lineal, $a\epsilon + b$, donde el b fue compatible con 0.

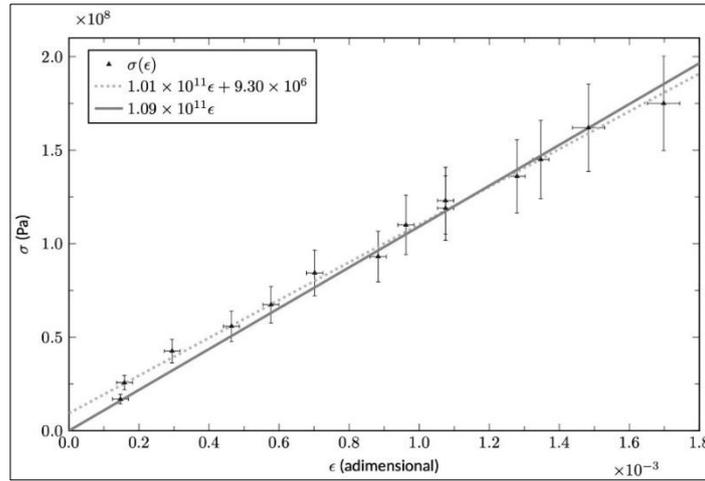


FIGURA 5. Con puntos y barras de incertidumbre los datos calculados para el esfuerzo de tensión en Pa y la longitud unitaria. Con trazo continuo el modelo, $\sigma = Y\epsilon$, obtenido al aplicar el método de mínimos cuadrados. Con trazo punteado la recta que se ajusta mejor a los datos experimentales obtenidos.

En la figura 6, se presenta el módulo de Young con triángulos en función del estiramiento unitario y con trazo continuo el valor medio. Es claro que las mismas tres muestras antes identificadas son las que aquí también se presentan con la mayor dispersión. Este gráfico es otra forma de visualizar el módulo de Young sobre la hipótesis de una distribución gaussiana en donde el valor medio y la desviación estándar brindan la información relevante.

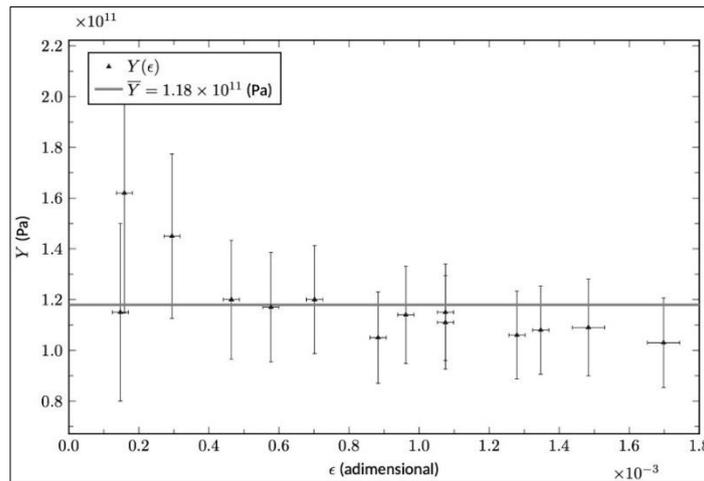


FIGURA 6. Con triángulos el módulo de Young calculado para cada estiramiento unitario, la barra de incertidumbre da cuenta de la desviación estándar de la muestra. Con trazo continuo el promedio de Y .

En la tabla I, parte superior, se presentan los resultados del ajuste de los datos al utilizar el método de mínimos cuadrados, se listan: el módulo de Young, su incertidumbre estadística, el coeficiente de correlación de Pearson y el porcentaje de error. En la parte inferior, se muestran el valor medio, la incertidumbre (desviación estándar), la incertidumbre con factor de cobertura $k=2$ y el porcentaje de error. El porcentaje de incertidumbre al utilizar la desviación estándar es mayor al del método de mínimos cuadrados.

TABLA I. Módulo de Young y su incertidumbre al determinarse por el método de mínimos cuadrados y como un promedio.

Mínimos cuadrados			
$Y(\times 10^{10}$ Pa)	$\Delta Y(\times 10^{10}$ Pa)	R	% error
10.9	0.4	0.993	3.4
Cálculo del promedio			
$\bar{Y}(\times 10^{10})$ Pa	$\Delta \bar{Y}(\times 10^{10})$ Pa	$\Delta \bar{Y}(\times 10^{10})$ Pa	% error
11.8	(p68) 1.6	(p95) 3.3	14

V. SESIONES DE TRABAJO

Para desarrollar este laboratorio se realizaron cuatro sesiones de 2 h cada una en las que se incluyen el armado del dispositivo experimental, la recolección de datos, revisiones de la toma de datos, procesamiento, obtención de resultados, discusión, conclusiones y la evaluación formativa. Las mediciones se llevaron a cabo en dos instancias, con una clase de discusión intermedia. En la clase de discusión, fue necesario recrear la toma de datos mediante el uso de la bitácora y el registro fotográfico. Se visualizaron, con cuidado, fotografías de la toma de datos para reforzar las habilidades de los estudiantes en el uso del calibre. Para el docente fue una instancia propicia para volver sobre el uso del calibre, su apreciación, la estimación (efecto del observador) y el cálculo de incertezas. Los estudiantes fueron capaces de detectar aspectos a mejorar del montaje experimental, al revisar el experimento a través de la bitácora. Esto es relevante para los experimentadores, en especial para novatos, puesto que reconocen aciertos y aspectos a mejorar, además de fortalecer la rigurosidad propia del trabajo científico. Estas instancias permitieron evaluar el proceso de aprendizaje, la toma de decisiones para la reestructuración del laboratorio y la reorientación por parte del docente.

Luego de una nueva recolección de datos se utilizó una sesión para el procesamiento de datos y obtención de resultados. En este punto se decidió utilizar el método de mínimos cuadrados y el cálculo del promedio para obtener el módulo de Young. El docente profundizó sobre las dos formas de abordar el procesamiento, su significancia y aplicación. Se prestó especial atención a los aspectos transversales del laboratorio, construcción de gráficos e inclusión de incertidumbres. En una nueva sesión se discutieron los resultados obtenidos, valores para el módulo de Young, incertidumbres y calidad del ajuste. También se comparó el resultado obtenido con valores tabulados disponibles en libros e Internet, estando contenido en el orden de magnitud. Lo que da confianza al grupo de estudiantes en el resultado logrado. Finalmente los estudiantes trabajaron en sus reportes y la defensa de sus trabajos, donde se comparten los aprendizajes y retroalimentan los informes.

VI. CONCLUSIONES

Los estudiantes al realizar un laboratorio muy diferente al de sus experiencias de la enseñanza media, se vieron motivados por la propuesta. Su rol fue de protagonistas y con un alto grado de responsabilidad por la concreción de la tarea. Durante el desarrollo de las sesiones, reconocieron algunas de las facetas de la investigación científica, montar dispositivos, medir cuidadosamente, confeccionar una bitácora, iniciarse en el procesamiento de datos experimentales y vincular los gráficos obtenidos con su medición experimental. Se avanzó en la toma de decisiones fundadas de los estudiantes, competencias que son extrapolables a futuros laboratorios.

Se entiende que una de las fortalezas radica en ser realizada fuera del salón y al ubicar a los estudiantes en un escenario nuevo, en el cual deben realizar explicaciones a sus pares de otras áreas que ofician como curiosos. Se pone a la ciencia y en particular a la física en un lugar de accesibilidad para todos y ayuda a paliar el mito de que es solo una tarea de expertos, aislados en sus laboratorios.

Conocer el módulo de Young tiene un valor en sí mismo y esta metodología de trabajar fuera del aula con dispositivos a gran escala podría extenderse a varios temas que son del currículo. La propuesta pone en valor la experiencia como inspiración para que los colegas puedan realizar las propias desde una nueva perspectiva.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los laboratorios de enseñanza de Física del CeRP del Sur y del CeRP del Litoral. Además al Laboratorio de Investigación en Enseñanza de la Física (LIEF) del CENUR LN de la Universidad de la República. Agradecemos los valiosos aportes y comentarios de: Mag. Gerardo Vitale y la Mag. Giselle Vargas.

REFERENCIAS

Chabay, R. W., Sherwood, B. A. (2015). *Materia e interacciones I*. Mecánica Moderna. Trillas.

Etkina, E., Van Heuvelen, A., Brookes, D. T. & Mills, D. (2002). Role of experiments in physics instruction —a process approach. *The Physics Teacher*, 40(6), 351–355.

Etkina, E. (2019). Can we teach students to think like scientists while learning science? *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 14(2), 220-223. doi: <http://doi.org/10.14483/23464712.14616>

García, Á. F. (2010). Física con ordenador –Curso Interactivo de Física en Internet. Recuperado de: http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/solido/din_rotacion/alargamiento/alargamiento.htm

Gil, S. (2014). *Experimentos de Física usando TIC y elementos de bajo costo*. Buenos Aires, Argentina: Alfaomega.

Hodson, D. (1988). Experiments in science and science teaching. *Educational Philosophy and Theory*, 20(2), 53-66. Doi: 10.1111/j.1469-5812.1988.tb00144.x

Hooke, R. (1678). *Lectures de potentia restitutiva, or, of spring explaining the power of springing bodies*. London: Printed for John Martyn.

Millar, R. (1987). Towards a role for experiment in the science teaching laboratory. *Studies in Science Education*, 14(1), 109-118. Doi: 10.1080/03057268708559941