

Capítulo 7

Experimentando y Aprendiendo Física con Smartphones

Miguel Á. González, Juarez B. da Silva *Member, IEEE*, Óscar Martínez, Willian Rochadel y Manuel Á. González

Title—Doing experiments and learning physics with smartphones

Abstract— For a better understanding and learning physics students need practical experimentation as much as teachers' theoretical explanations. Sometimes experimental equipment costs or time availability limit the students work in the laboratory. Current smartphones are powerful calculation devices with built-in sensors which can be used as measurement tools in many simple physics experiments by replacing more expensive laboratory equipment and also allow the students to do experiments by themselves along everyday activities increasing students' autonomous work and engagement. In this work we describe briefly some experiments performed with smartphones and discuss their results and learning interest.

Index Terms— Educational technology, Physics education, Engineering education: Student experiments, Electromechanical sensors, Low cost laboratories

Abstract— Para entender y aprender mejor física, los estudiantes necesitan explicaciones teóricas y realizar experimentos por ellos mismos. Algunas veces, condicionantes económicos o temporales limitan el trabajo de los alumnos en el laboratorio. Los dispositivos móviles actuales poseen una elevada capacidad de cálculo e incluyen sensores que pueden ser utilizados como dispositivos de medida en experimentos sencillos, reemplazando equipamiento más caro. También permiten que los alumnos realicen experimentos por sí mismos en situaciones cotidianas, favoreciéndose su trabajo autónomo e interés por la asignatura. En este trabajo se describen brevemente algunos experimentos sencillos realizados con smartphones y se discuten sus resultados.

Este trabajo fue presentado originalmente en el 2015 International Conference Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality.

Miguel Á. González catedrático del Departamento de Física de la Materia Condensada de la Universidad de Valladolid, España (e-mail: mrebollo@eii.uva.es).

Juarez B. da Silva, profesor de la Universidade Federal de Santa Catarina, [RexLab](http://www.rexlab.com), Brasil (email: juarez.b.silva@ieee.org).

Ó. Martínez, profesor titular del Departamento de Física de la Materia Condensada, Universidad de Valladolid, España (e-mail: oscar@fmc.uva.es).

Willian Rochadel, [RexLab](http://www.rexlab.com), Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil (e-mail: willian.rochadel@ufsc.br)

Manuel Á. González, profesor titular del Departamento de Física Aplicada de la Universidad de Valladolid (autor para correspondencia, email: manuelgd@termo.uva.es)

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por la Universidad de Valladolid (España) dentro de los Proyectos de Innovación Docente PID2015_128 y PID2015_219.

Index Terms— Tecnología educativa, Enseñanza de la Física, Enseñanza en ingeniería: Experimentos para estudiantes, Sensores electromecánicos, Laboratorios de bajo coste

I. INTRODUCCIÓN

La tecnología puede jugar un papel importante en el modo en el que aprendemos o enseñamos. De igual manera, la tecnología puede ser fundamental para facilitar la difusión del conocimiento y la cultura más allá de colegios y universidades [1]. El reciente desarrollo tecnológico y en las comunicaciones ha permitido que quizá las dos tecnologías docentes que mayor crecimiento han experimentado hayan sido los cursos online abiertos masivos (MOOC) [2] y el aprendizaje móvil, mLearning, [3, 4]. Entre los beneficios de estas dos tecnologías podemos destacar que ambas favorecen el acceso al conocimiento de comunidades menos favorecidas y que permiten a que los estudiantes construyan sus propios entornos de aprendizaje [5].

Si nos centramos en el uso de los dispositivos móviles, smartphones y tabletas, en docencia, éste ha crecido enormemente a lo largo de los últimos años. En muchas áreas estos dispositivos se usan como facilitadores del conocimiento, para facilitar las comunicaciones entre estudiantes o entre los estudiantes y los profesores, para seguir y evaluar los avances de los estudiantes o, incluso, para elaborar materiales multimedia, vídeos docentes o elementos de realidad aumentada, gracias a diferentes aplicaciones. Sin embargo para los profesores y estudiantes de física los smartphones y tabletas pueden ser también unas potentes herramientas para realizar experimentos de física gracias al conjunto de sensores de que disponen y a su capacidad de cálculo [6]. Su uso, tanto en experimentos en el laboratorio docente como a lo largo de actividades cotidianas, permite a los estudiantes fortalecer su aprendizaje por medio de la observación y medida directa de fenómenos físicos, lo que les permite contrastar su conocimiento, o sus creencias previas, con sus propios resultados experimentales.

El uso de los smartphones como dispositivos experimentales en experimentos de física requiere un cuidado y preparación previa para garantizar unos efectos positivos en el aprendizaje. Algunos de los aspectos que necesitan tenerse en cuenta son la exactitud de los sensores de los smartphones, así como su adecuación al experimento que se desea realizar. Igualmente importante es la corrección y precisión de la aplicación móvil que se usará para acceder a los datos recogidos por los sensores. El

profesor debe asegurarse de que los datos suministrados por dicha aplicación son correctos, tienen significado físico y no serán fuente de confusión para los estudiantes que la usan [7]. De la misma manera, los profesores también deben ser cuidadosos en el diseño e implementación de los experimentos docentes que puedan realizarse con los smartphones. Estos experimentos deben permitir a los estudiantes observar el fenómeno físico sin dificultades técnicas o teóricas que dificulten el aprendizaje. El aspecto final que debe tener en cuenta el docente es el análisis y evaluación de la influencia del trabajo con estos dispositivos en el aprendizaje y motivación de los alumnos.

A lo largo de los últimos años se han descrito muchos experimentos físicos sencillos, de casi todas las ramas de la física, que pueden realizarse usando los smartphones, como puede verse en [8], donde una breve revisión de artículos recientes muestra diferentes trabajos clasificados por rama de la física a la que se refieren. Una clasificación diferente se hace en [9], donde se muestran y clasifican algunos trabajos en función del tipo de experimento (en el laboratorio o fuera de él) y del uso que se dé al smartphone en el experimento. En este sentido, el uso de los smartphones como dispositivos de medida en el laboratorio permite sustituir algún material experimental más caro por los smartphones bien usando sus sensores internos o añadiéndole elementos electrónicos baratos [8], lo que permite desarrollar laboratorios de bajo coste que beneficiarían a instituciones con gran número de alumnos o bajo presupuesto [10].

El aspecto final que debe llevarse a cabo en los trabajos de investigación docente con los smartphones como dispositivos experimentales corresponde al análisis de la influencia que su uso tiene en la mejora del aprendizaje e interés de los alumnos. En este sentido, algunos trabajos previos realizados hasta ahora [11,12] han mostrado, dentro de las limitaciones debidas a los contenidos y tipo de estudiantes analizados en esos trabajos, que el uso de los teléfonos de los propios estudiantes en los experimentos, como mediadores entre la vida de los estudiantes fuera de las aulas y en ellas, aumenta el interés de los estudiantes por la física y facilita su aprendizaje.

II. UN EJEMPLO SIMPLE DE USO DEL SMARTPHONE EN EL LABORATORIO

Los actuales smartphones poseen unas capacidades de cálculo, así como una panoplia de sensores que les convierten en herramientas muy útiles en muchos experimentos docentes de física, tanto en los laboratorios de facultades o institutos como fuera de ellos. El ejemplo que presentamos aquí puede ser realizado por los alumnos, tanto como parte de su trabajo en el laboratorio docente, como de modo autónomo, formando parte de un trabajo de investigación personal. El bajo coste de los materiales necesarios para el experimento, y a la vez la diversidad de resultados que se pueden extraer de él, le convierten en un posible ejemplo de interés para centros con gran número de alumnos o bajos recursos económicos.

En este experimento se utiliza el smartphone para medir y analizar las frecuencias de vibración longitudinal de barras de diferentes materiales que vibran con un extremo fijo. El montaje experimental necesario se muestra en la figura 1.

Como se ve en ella, además del smartphone o tablet, así como la barra objeto del experimento, solo se necesitan una mordaza y unos tacos de madera para sujetar la barra que se va a hacer vibrar.

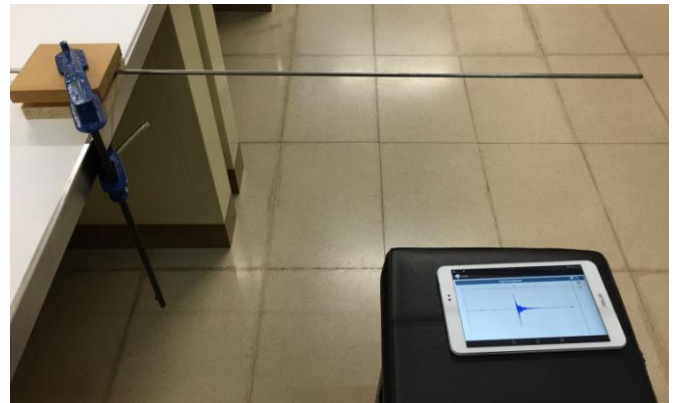


Fig. 1. Montaje simple utilizado para medir las vibraciones transversales de una barra usando un dispositivo móvil.

Las frecuencias teóricas de vibración longitudinal de una barra están dadas por [13]:

$$f = \frac{vk}{L^2} C_n, \quad (1)$$

donde v es la velocidad del sonido en el material, que depende de su módulo de Young, E , y de su densidad, ρ , según

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}. \quad (2)$$

En (1), L es la longitud de la barra que vibra, medida desde el punto de sujeción hasta el extremo libre, el parámetro k establece la dependencia con sección de la barra, siendo $k = r/2$ para barras cilíndricas de radio r o $k = w/\sqrt{12}$ para barras de sección rectangular y anchura w . El parámetro C_n establece el orden del modo de vibración, siendo

$$C_n = \begin{cases} 2n - 1 & \text{si } n \text{ es impar} \\ 2n & \text{si } n \text{ es par} \end{cases} \frac{\pi}{8} \quad (3)$$

$n = 1, 097, 1.99 \quad 4, 3, 4, 5, \dots$

Para calcular las frecuencias teóricas de vibración dependiendo del material de la barra, los valores de su módulo de Young y densidad pueden tomarse, por ejemplo, de [14].

En nuestro caso tanto la medida del sonido producido por la barra al vibrar como el cálculo de la transformada de Fourier necesaria para determinar las frecuencias de vibración se realizó usando la aplicación AudiA [10,15], desarrollada por nuestro grupo, y que se encuentra disponible de forma gratuita en la tienda de aplicaciones de Google [16]. Esta aplicación permite grabar en formato csv tanto los ficheros de sonido como su transformada de Fourier, de modo que los estudiantes, si lo desean, pueden transferir dichos ficheros a un ordenador, hacer un estudio

más detallado en el mismo o usarlo para realizar las representaciones gráficas que sean necesarias.

Para producir las oscilaciones que se quieren realizar, los estudiantes pueden usar dos métodos distintos: desplazar de su posición de equilibrio el extremo libre de la barra y posteriormente liberarlo para que se produzca la oscilación, o excitar dichas oscilaciones golpeando dicho extremo libre. Cada método tiene alguna ventaja y algún inconveniente. Mientras que al golpearlo se excitan modos de mayor frecuencia y también, en general, todos los modos poseen mayor intensidad que cuando se desplaza y libera el extremo libre, este método, si no se hace con mucho cuidado puede excitar modos de oscilación que no corresponden a los transversales objeto del estudio, de modo que la transformada de Fourier obtenida posee mayor ruido experimental. Por el contrario, cuando se desplaza y libera el extremo libre se obtienen resultados con menor ruido experimental pero no se aprecian los modos de mayor orden, lo que no representa un gran problema si se restringe el estudio a frecuencias no demasiado elevadas (por debajo de los 15000 Hz para los casos que hemos analizado en nuestro estudio). La figura 2 muestra una comparación de las transformadas de Fourier obtenidas a partir del sonido producido por una barra de acero de 25 cm de longitud y sección circular con radio de 0.925 mm. Tanto la grabación del sonido como el cálculo de la transformada de Fourier se llevaron a cabo en el teléfono usando la aplicación AudiA. Como se ve en dicha figura los datos obtenidos cuando se golpea el extremo libre de la barra poseen mayor intensidad, pero también mayor ruido experimental, que cuando se generan las oscilaciones desplazando y liberando el extremo libre de la barra. Los resultados mostrados en esa figura 2 se han obtenido promediando tres experimentos independientes de cada tipo, golpeando o desplazando, y se representan las barras de error obtenidas tras promediar dichos experimentos. Como se ve en esa figura, las frecuencias correspondientes a los modos de vibración, y que corresponden a los máximos relativos de la transformada de Fourier, se pueden observar fácilmente en los ficheros calculados por el smartphone.

Este experimento permite analizar de un modo sencillo y

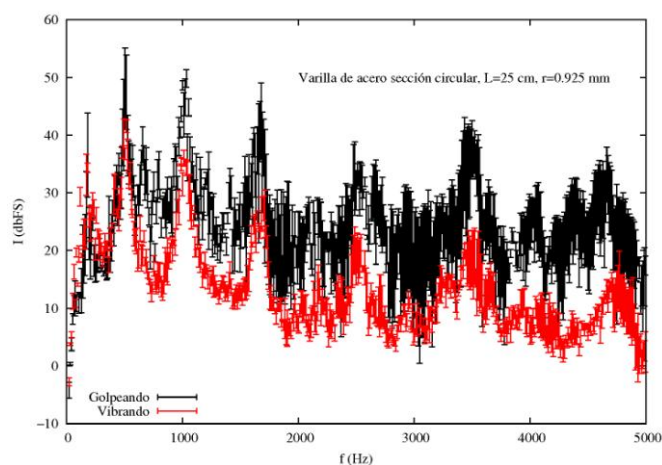


Fig. 2. Transformadas de Fourier promedio de tres experimentos independientes realizadas en dos condiciones distintas con el propio smartphone usando la aplicación AudiA. Se comparan aquí los resultados obtenidos cuando en el experimento las vibraciones se generan golpeando el extremo libre de la barra o haciéndolo vibrar tras separarlo de la posición de equilibrio y posteriormente liberarlo.

barato la dependencia de las frecuencias de oscilación con el material de la varilla, su geometría y dimensiones. Para evaluar tanto las posibles aplicaciones docentes como las dificultades que puede plantear el experimento a los alumnos, en nuestro estudio analizamos las oscilaciones de varillas de diferentes aleaciones de acero y aluminio con distintas longitudes y secciones. Para generalizar algo más los casos estudiados también consideramos varillas de sección circular y cuadrada. En concreto hemos considerado varillas con longitudes entre 25 cm y 90 cm, radios (para las de sección circular) entre 0.9 mm y 4 mm y anchuras (para las de sección cuadrada) entre 2 mm y 8 mm. Antes de empezar el experimento los alumnos deben comprobar que el teléfono recoge una intensidad de sonido suficiente pero sin llegar a saturar. Para ellos es conveniente que prueben a situarlo a diferentes distancias de la barra que oscila para elegir la condición óptima. Es conveniente que los alumnos también conozcan la posible influencia de la sensibilidad del micrófono del teléfono utilizado también en las medidas recogidas. La mayoría de los teléfonos poseen micrófonos sensibles a frecuencias desde, aproximadamente, los 80 Hz hasta los 18 kHz. Sin embargo, en pruebas realizadas por nosotros con teléfonos de menor gama hemos visto que su sensibilidad decrece abruptamente a partir de los 8000 Hz, aproximadamente. Por ello recomendamos que el trabajo con los alumnos se centre en un intervalo medio de frecuencias, como se ve en la figura 3, donde la sensibilidad de los micrófonos es suficientemente uniforme y buena, permitiendo, además analizar un número suficiente de modos de vibración. La mencionada figura 3 muestra una comparación entre los resultados experimentales obtenidos para una varilla de acero de 90 cm de longitud, sección circular y radio de 2 mm, y los valores teóricos calculados a partir de las expresiones (1) a (3). Los valores del módulo de Young y densidad del material utilizado se tomaron de [14]. En esa figura, los valores teóricos de los modos de vibración aparecen representados con líneas de trazos verticales, mientras los datos experimentales, promedio de tres medidas independientes, se muestran con las barras de error correspondientes. Como se puede ver en dicha figura, para el caso estudiado, el acuerdo teoría-experimento es muy bueno a pesar de la simplicidad del montaje y materiales utilizados. Sin embargo, en otros casos el acuerdo puede no ser tan bueno. Si el experimento se realiza con cuidado, la principal razón de desacuerdo entre los resultados teóricos y experimentales es el desconocimiento exacto de las características físicas de la varilla utilizada [9]. Cuando no se conocen con exactitud el valor del módulo de Young o de la densidad del material utilizado, las posibles variaciones que pueden darse en esos valores, dependiendo de las aleaciones del metal de la varilla, pueden originar desacuerdos que aumentan al aumentar el modo de vibración dado el factor multiplicativo de la velocidad del sonido en (1). Incluso la influencia de pequeñas variaciones del radio o la anchura de las varillas puede apreciarse en los valores teóricos de los modos de mayor orden [9].

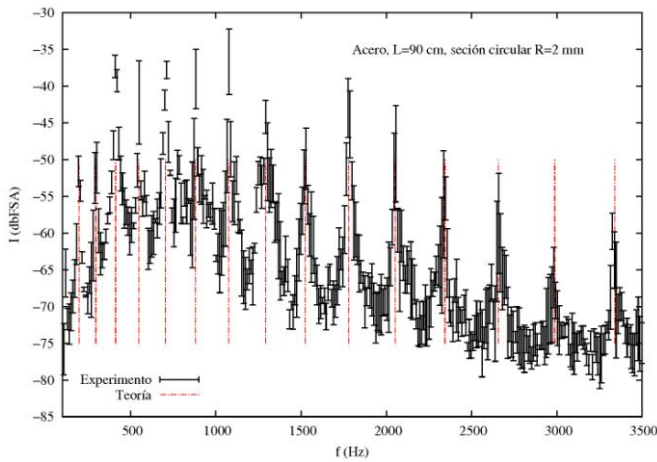


Fig. 3. Comparación teoría-experimento para las frecuencias obtenidas haciendo vibrar una barra de acero de 0.9 m de longitud y sección circular de 2 mm de diámetro. Como se ve el acuerdo es bueno a pesar de la simplicidad del montaje, y de realizar las medidas de intensidad y la transformada de Fourier del sonido usando únicamente el smartphone.

Sin embargo, esta desventaja puede convertirse en una ventaja docente ya que permite a los profesores proponer a los alumnos discusiones sobre las razones de la misma o la búsqueda de los valores del módulo de Young o densidad de la varilla estudiada. Un trabajo alternativo que pueden realizar los alumnos también es estudiar la dependencia de las frecuencias de vibración con la longitud y la anchura de las varillas, por ejemplo, y posteriormente comparar sus resultados con las expresiones teóricas (1) a (3). Para este trabajo se puede proponer a los alumnos que midan la frecuencia experimental de un modo determinado para varillas de diferentes longitudes, radios e incluso materiales. Posteriormente pueden representar los valores obtenidos para todos los casos estudiados y tratar de ajustarlos en función de la longitud o el radio/anchura [9]. En la figura 4 se muestra un estudio alternativo diferente. En ella se han representado los valores experimentales de la frecuencia del modo de orden $n=3$ para todas las varillas utilizadas en este trabajo en función del cociente r/L . Como se ve todos los resultados muestran un comportamiento lineal de la frecuencia de dicho modo en función de r/L , tal y como establecen las expresiones teóricas, y las pendientes se agrupan en torno a dos valores. Por un lado el correspondiente a las varillas de aluminio, con una muy pequeña dispersión en las pendientes, y por otro lado, con una mayor dispersión, los valores correspondientes a las varillas de acero. Éstas presentan mayor dispersión ya que se utilizaron varillas de acero de diferentes aleaciones, que, por tanto, poseen similares, pero diferentes, valores de E y ρ , y, por tanto, de la velocidad del sonido en ellas. Pero, si se calcula el valor medio de las pendientes correspondientes a cada material, el cociente entre dichos valores medios corresponde a la relación de las velocidades del sonido medias en ambos materiales. En efecto, para los casos mostrados en la figura 4 el cociente entre las pendientes medias de las rectas de ajuste obtenidas es 1.73 ± 0.19 , mientras que la relación obtenida entre las velocidades del sonido en el acero y el aluminio a partir de los datos promedios de módulo de Young y densidad de

ambos materiales en [14] es 1.66 , de modo que la diferencia es únicamente del 4.2%.

III. UN EJEMPLO DE USO DEL SMARTPHONE EN EXPERIMENTOS EN SITUACIONES COTIDIANAS

Podemos aprovechar que los estudiantes llevan siempre consigo sus dispositivos móviles para diseñar experimentos sencillos que les permitan observar y medir fenómenos físicos por sí mismos a lo largo de su vida diaria. Estos experimentos, además, les permitirán contrastar sus propios resultados con sus conocimientos o creencias previas y, también, aprender la importancia del cuidado y el análisis en el trabajo experimental, lo que aprovecharán cuando realicen experimentos en el laboratorio real. Por otra parte, los teléfonos móviles, que los alumnos usan en el discurrir diario, se convierten así en un puente que favorece la integración del aprendizaje de la física dentro de la vida cotidiana de los alumnos. Diferentes trabajos han explorado el uso de los smartphones y tabletas en experimentos físicos aprovechando actividades cotidianas fuera del laboratorio. Algunos de estos trabajos se han centrado en las experiencias ricas en fenómenos físicos que se pueden observar en parques de atracciones [17,18,19,20] o incluso en parques acuáticos [21]. Pero desgraciadamente, estas experiencias tan atractivas para los alumnos y con una física tan interesante no pueden considerarse actividades cotidianas o incluso habituales para muchos estudiantes. Por ello otros trabajos han investigado cómo aprovechar otras situaciones más habituales para aprender física realizando experimentos con los smartphones. Algunas de estas otras situaciones pueden ser montar en un ascensor [22], un viaje en coche o en bicicleta [10], e incluso en el proceso de despegue o aterrizaje de un avión [8]. En este trabajo mostramos algunos resultados de cinemática básica que los alumnos pueden obtener fácilmente en un viaje en autobús simplemente usando una aplicación que les permita acceder a los sensores. En nuestro ejemplo hemos utilizado la aplicación gratuita Sensormobile [23,24], que permite acceder a diferentes sensores del smartphone simultáneamente y, por tanto, analizar conjuntamente los datos obtenidos en el mismo experimento a partir de diferentes magnitudes. La medidas simultánea de diferentes

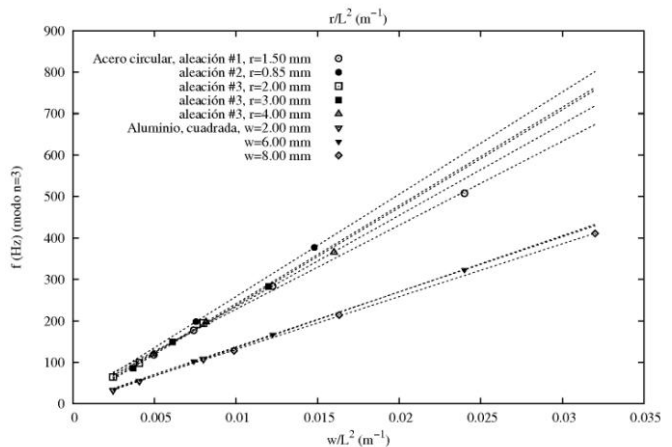


Fig. 4. Estudio de la dependencia de la frecuencia del modo de vibración correspondiente al modo $n=3$ respecto del cociente r/L^2 o w/L^2 para varillas de sección circular y rectangular, respectivamente. Se han considerado varillas de acero y aluminio de diferentes dimensiones.

magnitudes permite que los alumnos analicen las relaciones entre diferentes parámetros, como, por ejemplo, el desplazamiento, velocidad instantánea, aceleración, velocidad angular, o, incluso, el campo magnético local. En el experimento sencillo descrito aquí el smartphone se colocó horizontalmente sobre el suelo del autobús, con su eje Y a lo largo de la dirección del movimiento. Debe ponerse especial cuidado en que el teléfono quede lo más rígidamente unido posible al suelo del autobús. Pese al cuidado en mantener fija la posición del teléfono en el autobús, las vibraciones de éste, o su propio movimiento no regular, dan lugar a un ruido experimental cuya consideración, en cuanto al aprendizaje del trabajo en experimentos de física, resulta también interesante para los alumnos, por lo que lo hemos incluido en los resultados presentados aquí. De todos los datos obtenidos en un posible viaje, aquí mostramos únicamente datos correspondientes a la parte de la trayectoria mostrada en la Fig. 5, que corresponde a poco más de 200 segundos del viaje. La posición del autobús en función del tiempo se determinó a partir de los datos de GPS recogidos por la aplicación en el smartphone. Estos mismos datos permitieron también obtener la velocidad instantánea del autobús en cada momento del viaje.

La figura 6 muestra un ejemplo de relación entre magnitudes cinemáticas simples, en concreto la posición en función del tiempo y la velocidad instantánea del autobús. La velocidad instantánea muestra un ruido experimental tanto debido al propio movimiento del autobús o irregularidades en su trayectoria o en la calzada como a la propia inexactitud intrínseca al sistema GPS. Sin embargo se aprecia en la Fig. 6 cómo a lo largo del intervalo de tiempo considerado la velocidad promedio es prácticamente constante, correspondiendo a aproximadamente 102.8 km/h. Esa velocidad promedio se ha marcado con una línea verde en la figura y los intervalos de error de dicho promedio con líneas rojas a trazos. El intervalo de error mostrado en la figura corresponde a 3.2 m/s, es decir solo un 3.08% de la velocidad promedio. Superpuesta a las gráficas de la velocidad se ha representado la distancia recorrida en ese intervalo de tiempo. Los estudiantes pueden ver que dicha distancia aumenta linealmente con el tiempo, como corresponde a un movimiento con velocidad constante. A partir de la pendiente de la gráfica de la velocidad los estudiantes también pueden obtener la velocidad promedio, que se ha representado con una línea azul y en el caso representado tiene un valor de 100.6 km/h, mostrando un buen acuerdo con la velocidad promedio anterior.

Este ejemplo sencillo permite analizar otros datos cinemáticos, como la velocidad angular o la aceleración centrípeta al describir la curva mostrada en la Fig. 5. Algunos de estos parámetros se muestran en la Fig. 7. En dicha figura se han representado la componente X de la aceleración y la componente Z del giróscopo. Tal y como se colocó el teléfono, esos parámetros corresponden a la aceleración normal del vehículo y a la velocidad angular debida los giros del autobús según se desplaza a lo largo de la trayectoria, respectivamente. Si consideramos únicamente los instantes entre los segundos $t=260$ s a $t=285$ s, que en la trayectoria corresponden aproximadamente al trazado de la curva señalada con una flecha en la Fig. 5, obtenemos unos

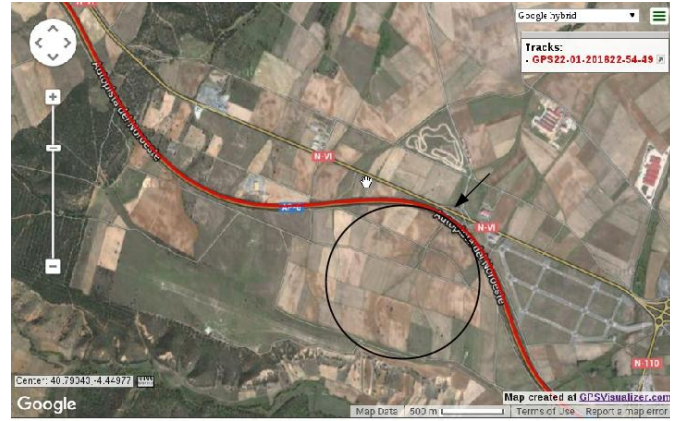


Fig. 5. Trayectoria seguida por un autobús, en rojo, mientras se recogían datos de su movimiento con los sensores de un teléfono móvil de un viajero. La trayectoria se ha obtenido a partir de los datos GPS del teléfono.

valores medios para la componente de la aceleración perpendicular al movimiento $a_x = 0.594 \text{ m/s}^2$ y para la velocidad angular $\omega_z = 0.031 \text{ rad/s}$. Como se puede ver en la Fig. 7, tanto a_x como ω_z aumentan progresiva, y simétricamente, según entra el autobús en la curva, alcanzando sus valores máximos en la parte más cerrada de la misma, para después disminuir de nuevo según el vehículo entra en un tramo más recto. De una manera similar, combinando las medidas del smartphone con la con los mapas de la trayectoria, los alumnos pueden realizar descripciones y análisis cualitativos del movimiento y entender más fácilmente la física del problema. Por otro lado, los cálculos cuantitativos permiten también a los alumnos comprobar la expresión de la aceleración centrípeta (suponiendo un movimiento plano), $a = \omega^2 r = v^2 / r$ midiendo en un mapa el radio de la curva descrita por el autobús. En nuestro ejemplo, aquí hemos realizado el proceso inverso, hemos calculado cuál debería ser el radio de la curva que tendría que describir el autobús con esa velocidad angular ω_z para sufrir la aceleración centrípeta $a_x : r = a / \omega^2 = 618.1 \text{ m}$. En la Fig. 5 se ha dibujado sobre la trayectoria seguida por el autobús y tangente con la curva analizada tal circunferencia. Como se ve el acuerdo es bueno incluso con el ruido experimental. Este buen acuerdo,

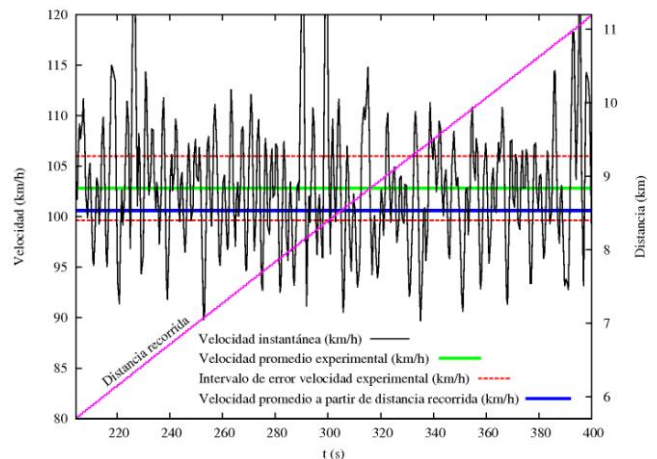


Fig. 6. Trayectoria seguida por un autobús, en rojo, mientras se recogían datos de su movimiento con los sensores de un teléfono móvil de un viajero. La trayectoria se ha obtenido a partir de los datos GPS del teléfono.

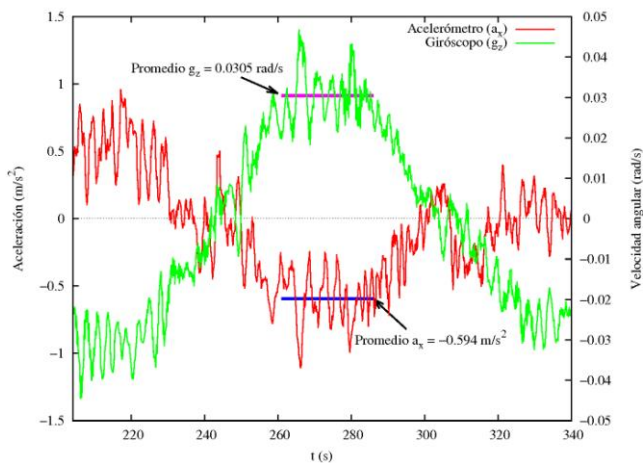


Fig. 7. Aceleración centrípeta medida con el acelerómetro y velocidad angular obtenida con el giróscopo al describir la trayectoria de la figura 5. Se han marcado los valores promedios de ambas magnitudes en una de las curvas descritas en el movimiento analizado.

así como el mostrado también en la Fig. 6, permite usar con confianza este tipo de medidas en experimentos sencillos de física que los estudiantes pueden realizar por su cuenta, a modo de investigación personal, para incrementar su interés por la física y favorecer su trabajo autónomo gracias al uso de sus propios smartphones.

IV. CONCLUSIONES

Los teléfonos pueden ser herramientas útiles para la enseñanza de la física. Pero a diferencia de otras materias, para la física su papel puede ir más allá de facilitadores del conocimiento o de la comunicación entre alumnos y profesores. En este trabajo se han descrito algunos ejemplos sencillos de experimentos de física realizados con teléfonos. Los resultados experimentales que se han obtenido muestran buenos acuerdos con los modelos teóricos, justificando el uso de los teléfonos tanto en los laboratorios docentes sustituyendo algún otro material más caro, como en experimentos *low-cost* que favorezcan el trabajo autónomo de los alumnos y su interés por la física. Un paso adicional necesario es la evaluación del impacto en el aprendizaje que pueden tener estos experimentos con smartphones. Para ello es necesario estudiar grupos amplios de alumnos de diferentes niveles y situaciones mediante colaboraciones de docentes de diferentes centros y niveles educativos.

REFERENCIAS

- [1] A. Molnar, "Computers in education: A brief history". *The journal*, vol. 24(11), pp. 63-68, 1997.
- [2] S. Kellogg. "Online learning: How to make a MOOC". *Nature*, 499(7458), pp. 369-371. 2013.
- [3] M. Sharples, J. Taylor, and G. Vavoula, "Towards a theory of mobile learning". *Proceedings of mLearn 2005*, vol. 1(1), pp. 1-9. 2005
- [4] J. Traxler, "Defining, Discussing and Evaluating Mobile Learning: The moving finger writes and having writ...." *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*, vol. 8(2), pp. 1-12. 2007.
- [5] M. de la Pena-Bandalara, "Impact of ICTs on open and distance learning in a developing country setting: the Philippine experience", *International Review of Research in Open and Distance Learning*, vol. 8, pp. 1-15, 2007
- [6] J. Kuhn, and P. Vogt. "Applications and examples of experiments with mobile phones and smartphones in physics lessons". *Frontiers in Sensors*, 1, 4 2013.
- [7] M. Á. González, M. Á. González, M. E. Martín, C. Llamas, Ó. Martínez, J. Vegas, M. Herguedas, and C. Hernández. "Teaching and Learning Physics with Smartphones." *Journal of Cases on Information Technology (JCIT)* vol. 17, no. 1, pp 31-50, 2015.
- [8] M.Á. González and M. Á. González. "Physics in your Pocket: Doing Experiments and Learning with your Smartphone" in *Proceedings of the 20th International Conference on Multimedia in Physics Teaching and Learning (MPTL'20)* (to be published).
- [9] M. Á. González and M. Á. González. "Smartphones as experimental tools to measure acoustical and mechanical properties of vibrating rods". *European Journal of Physics*, to be published, 2016.
- [10] M. Á González, J. B. da Silva, J.C. Cañedo, F. Huete, Ó. Martínez, D. Esteban, J. Manso, W. Rochadel, and M.Á González. "[Doing physics experiments and learning with smartphones](#)" in *Proceedings of the 3rd International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM'15)*, (ACM) pp 303-310, 2015.
- [11] J. Kuhn, and P. Vogt. "Smartphone & Co. in physics education—Effects of learning with new media experimental tools in acoustics". *Multidisciplinary research on teaching and learning* (Palgrave Macmillan, Basingstoke, UK), pp. 253-269. 2014.
- [12] P. Klein, J. Kuhn, A. Müller, and S. Gröber. "Video analysis exercises in regular introductory mechanics physics courses: Effects of conventional methods and possibilities of mobile devices". *Multidisciplinary Research on Teaching and Learning* (Palgrave Macmillan, Basingstoke, UK), pp. 270-288. 2015.
- [13] L.E. Kinsler, A.R. Frey, A.B. Coppens, and J.V. Sanders "Fundamentals of acoustics" 4th ed. Wiley-VCH, 1999. Secciones 3.8 a 3.11
- [14] Materials Data Book, Cambridge University Engineering Department, 2003.
- [15] J. C. Cañedo "AudiA: Estudio de ondas sonoras y audiometrías en entorno Android", Universidad de Valladolid: Proyecto Fin de Carrera, 2014
- [16] <https://play.google.com/store/apps/details?id=es.uva.audia> (página visitada el 9/3/2016).
- [17] A.M. Pendrill, and J. Rohlén. "Acceleration and rotation in a pendulum ride, measured using an iPhone 4". *Physics Education*, vol 46), pp. 676-681. 2011.
- [18] A.M. Pendrill. "Student investigations of the forces in a roller coaster loop". *European journal of physics*, vol. 34, pp. 1379-1389. 2013
- [19] R.E. Vieyra, and C. Vieyra. "Analyzing forces on amusement park rides with mobile devices". *The Physics Teacher*, vol. 52, pp. 149-151. 2014.
- [20] A.M. Pendrill, "Rotating swings—a theme with variations". *Physics Education*, vol. 51, 015014 (9 pp.) . 2015.
- [21] C. Cabeza, N. Rubido, N., and & A.C. Martí. "Learning physics in a water park". *Physics Education*, vol. 49, pp. 187-194. 2014
- [22] J. Kuhn, P. Vogt, and A. Müller. "Analyzing elevator oscillation with the smartphone acceleration sensors". *The Physics Teacher*, vol. 52, pp. 55-56. 2014.
- [23] F. Huete, D. Esteban, J. B. da Silva, M. Skouri, M.Á. Gonzalez, D. Goudjami, and M.Á. González. "Sensor Mobile, aplicación Android multilingüe con fines docentes para el acceso a sensores de smartphones". In *Proceedings of the XIII Jornadas de Redes de Investigación en Docencia Universitaria: Nuevas estrategias organizativas y metodológicas en la formación universitaria para responder a la necesidad de adaptación y cambio*, pp. 55-67. 2015.
- [24] <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.sensor.mobile> (página visitada el 28/3/2016).