

# PROPUESTA DIDÁCTICA PARA LA PROFESIONALIZACIÓN DE LA FÍSICA GENERAL EN LA CARRERA INGENIERÍA CIVIL

## DIDACTIC PROPOSAL FOR THE PROFESSIONALIZATION OF GENERAL PHYSICS IN THE CIVIL ENGINEERING MAJOR

S. L. GONZÁLEZ BELLO<sup>a†</sup>, S. CAMPOS MOVILLA<sup>a</sup>

Departamento de Física, Universidad de Holguín, Cuba; sgonzalez@uho.edu.cu<sup>†</sup>

<sup>†</sup> autor para la correspondencia

Recibido 9/03/2020; Aceptado 27/09/2020

PACS: Physics education (educación en física), 01.40.-d; physics teaching methods (métodos de enseñanza de la física), 01.40.gb; physics organizational activities (actividades organizacionales en física), 01.10.Hx

La carrera Ingeniería Civil en Cuba, forma profesionales con conocimientos y posibilidades de aplicación de las ciencias básicas y de la ingeniería, para proponer soluciones enfocadas en las edificaciones, las estructuras y las vías terrestres de comunicación [1].

En el Plan de Estudio "E", la Física provee al estudiante de conocimientos, habilidades y valores, para resolver problemas profesionales, que son determinantes en la adquisición de los modos de actuación profesional del ingeniero civil [1].

La práctica educativa en la Universidad de Holguín, reveló insuficiencias en la enseñanza de la Física para Ingeniería Civil: La inadecuada selección de conocimientos, e insuficiente vinculación de los ejercicios y problemas, con las disciplinas propias, lo que limita la formación profesional de los estudiantes.

Se encontraron publicaciones sobre dificultades para relacionar la Física con asignaturas de ingeniería, la solución de problemas profesionales, y la profesionalización en Ingeniería Civil, Mecánica e Industrial [2-7]. Se aprecia la necesidad de perfeccionar la didáctica de la Física, según las exigencias del Plan "E".

En este artículo se presenta una propuesta didáctica, que se distingue por la selección de conocimientos afines a la Ingeniería Civil, y la vinculación de las clases prácticas con problemas profesionales, para contribuir a la profesionalización de la Física.

Se complementan dos tendencias de la didáctica de la Física: la fundamentalización y la profesionalización [6,7]. La primera va a los fundamentos como ciencia básica, la segunda a la adaptación a los problemas profesionales del futuro ingeniero.

La primera contribución es la selección de conocimientos físicos afines a los problemas profesionales del ingeniero civil [1,8], que serán ejemplificados en las conferencias:

Topografía (Unidades de medida empleadas en Topografía), Geotecnia (Ley de Hooke), Análisis y Diseño de estructuras (Estática), y Diseño geométrico de obras viales (Dinámica del movimiento circular).

Los conocimientos seleccionados, enriquecen la Disciplina Principal Integradora de la carrera, que desarrolla habilidades en los estudiantes, y modela sus modos de actuación profesional.

La segunda contribución en este artículo, es la inclusión de ejercicios y problemas en las clases prácticas, que se relacionen con problemas profesionales en: El diseño geométrico de obras viales, vigas apoyadas en los extremos y puentes suspendidos, dilatación térmica en autopistas y vías férreas.

Para la ejemplificación didáctica se utiliza la dinámica del movimiento circular, en la solución del problema profesional del trazado de carreteras, y vías férreas en curva.

Se discute la explicación física del movimiento de un vehículo en una curva, debido a las fuerzas actuantes sobre el mismo y se escogen casos notables, para el análisis:

- a) El diseño de una vía con curva plana.
- b) La velocidad máxima de un auto, en una curva peraltada.
- c) Si la velocidad de operación es mayor que la velocidad máxima.
- d) Si la velocidad de operación, es menor que la velocidad máxima.

La recomendación didáctica es que hay que determinar las ecuaciones del movimiento del vehículo en la curva, utilizando un diagrama de cuerpo libre (DCL).

Los casos a) y b) se analizan en [9]. En a) no hay peralte, y la fuerza de fricción estática proporciona la fuerza centrípeta necesaria para que el auto tome la curva. Si la fuerza centrípeta se iguala a la fuerza de fricción estática máxima  $f_{S,max} = \mu_s n$ , la velocidad máxima del auto será:

$$v_{max} = \sqrt{\mu_s g R}. \quad (1)$$

En b) la curva posee peralte y la fuerza de fricción tiene una componente hacia el centro y otra hacia abajo. La normal tiene una componente hacia arriba y otra hacia el centro, que

contribuye con la componente de la fuerza de fricción, a lograr la fuerza centrípeta necesaria.

El ángulo de peralte  $\beta$ , será:

$$\beta = \arctan\left(\frac{v^2}{Rg}\right), \quad (2)$$

quedando en función de la velocidad  $v$  y el radio  $R$  de la curva [9].

Los casos c) y d), son menos analizados con los estudiantes, pero son típicos en el diseño de obras viales. Un problema que recoge ambos casos, se propone en [9], y se toma para su solución:

Considere una carretera húmeda peraltada, donde hay un coeficiente de fricción estática de 0,30 y un coeficiente de fricción cinética de 0,25 entre los neumáticos y el pavimento. El radio de la curva es  $R = 50$  m.

a) Si el ángulo de peralte es  $\beta = 25^\circ$ , ¿qué velocidad máxima puede alcanzar un auto antes de deslizar hacia arriba por el peralte?, b) ¿Qué rapidez mínima tendrá para no deslizar hacia abajo por el peralte?

Se identifican los datos:  $\mu_s = 0.30$ ;  $\mu_k = 0.25$ ;  $R = 50.0$  m y  $\beta = 25^\circ$  y las incógnitas: a)  $v_{max} = ?$ ; b)  $v_{min} = ?$

El auto se mueve con aceleración  $a = a_c$ , dirigida al centro de curvatura, situado a la derecha en el DCL (Fig. 1). La  $a_c$  se calculará de las fuerzas actuantes, y la velocidad de la ecuación (3):

$$a_c = \frac{v^2}{R}.$$

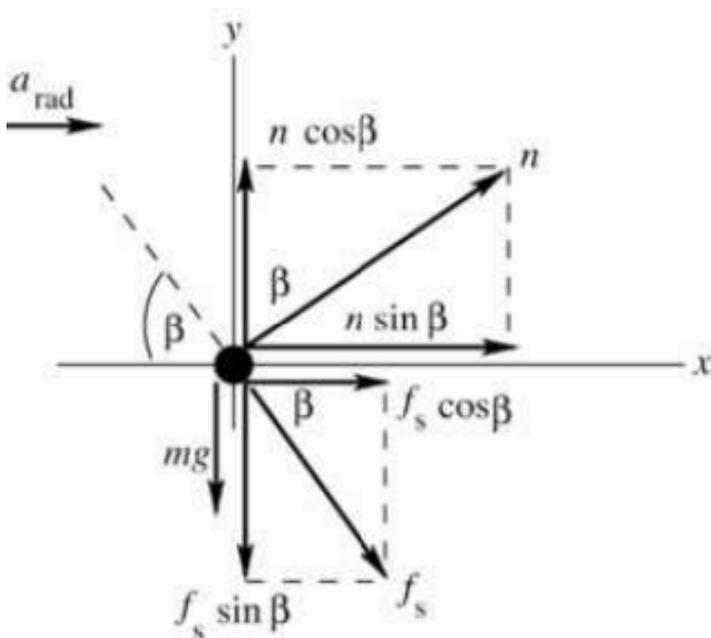


Figura 1. Representación de las fuerzas actuantes. Fuente: Young, H.D. y Freedman, R.A. Física universitaria. Solucionario. Volumen 1. 13ª edición. PEARSON. México, 2013. p.193.

a) En esta situación, la fuerza de fricción estática apuntará hacia abajo, formando un ángulo  $\beta$  con la horizontal, y tendrá un valor máximo  $f_{s,max} = \mu_s n$ .

En un marco de referencia inercial, se aplica la segunda ley de Newton para obtener las ecuaciones del movimiento del auto en la curva:

$$\sum F_x = ma_x, \quad (4)$$

$$n(\sin \beta + \mu_s \cos \beta) = ma_c,$$

$$\sum F_y = ma_y, \quad (5)$$

$$n(\cos \beta - \mu_s \sin \beta) = mg.$$

Resolviendo las ecuaciones, se obtiene:

$$a_c = \left(\frac{\sin \beta + \mu_s \cos \beta}{\cos \beta - \mu_s \sin \beta}\right)g. \quad (6)$$

Se calcula  $a_c = 8,82$  m/s<sup>2</sup>, y se obtiene la velocidad máxima:

$$v_{max} = \sqrt{a_c R} = 21 \text{ m/s}.$$

b) Para que el auto no deslice hacia abajo, la fuerza de fricción estática tendrá sentido contrario al anterior, y el DCL es idéntico al mostrado en a), excepto en que las componentes de la fuerza de fricción tienen sentidos opuestos. En las ecuaciones del movimiento los términos que contienen  $\mu_s$ , tienen signos opuestos.

Despejando  $a_c$  y calculando:

$$a_c = \left(\frac{\sin \beta - \mu_s \cos \beta}{\cos \beta + \mu_s \sin \beta}\right)g. \quad (7)$$

(3) Se obtiene que  $a_c = 1,47$  m/s<sup>2</sup> y la velocidad mínima  $v_{min} = \sqrt{a_c R} = 8,6$  m/s.

En ese rango de velocidades, el auto toma la curva con velocidad constante, siempre que la fuerza de fricción estática sea menor que  $\mu_s n$ . Cuando  $\mu_s \leftarrow 0$ ,  $a_c = g \tan \beta$ .

Se recomienda hacer un análisis similar de ejercicios y problemas, en clases prácticas que se relacionen con problemas profesionales de Ingeniería Civil.

La propuesta didáctica se aplicó en primer año de Ingeniería Civil, en el curso escolar 2018-19. Se realizó un experimento pedagógico, en un universo de dos grupos naturales con 30 estudiantes cada uno.

Se seleccionó una muestra de un grupo experimental (GE) y uno de control (GC), de 10 estudiantes cada uno (33,3% del universo), seleccionados aleatoriamente. Las condiciones de la muestra fueron equivalentes en cuanto a: promedio de notas en el primer semestre (3,20), composición por sexos (6 varones y 4 hembras) y promedio de edades (18,9 años).

En cada prueba parcial y examen final, se incluyó una pregunta relacionada con alguno de los problemas profesionales específicos de la carrera. Para analizar los resultados obtenidos en el aprendizaje, se tomó el promedio de notas de las dos pruebas parciales y el examen final de semestre, de cada estudiante de la muestra, y del grupo.

Se compararon los promedios del GE con los del GC, además se compararon los promedios de ambos grupos con las notas obtenidas en cursos anteriores.

El promedio del GC fue de 3,3 y del GE de 3,9; superior en +0,6. En los dos cursos anteriores, el promedio de notas global fue de 3,1 y 3,2, respectivamente. La comparación, permite afirmar que los resultados del aprendizaje en el GE, son superiores al GC, y ambos grupos mejoran con respecto a cursos anteriores.

Se evidenció en las respuestas, dominio de elementos esenciales del conocimiento, y habilidades en la solución de los ejercicios propuestos. Se apreció mayor interés en las clases de Física al relacionarlas con los problemas profesionales de su carrera.

Se recomienda perfeccionar la actividad experimental con enfoque de profesionalización, e incorporar conocimientos de Física Moderna, que no tiene el programa actual de la disciplina.

#### BIBLIOGRAFÍA

[1] Cuba. MES. Plan de Estudio "E". Carrera Ingeniería Civil. La Habana, (2018), pp. 8-50.

- [2] C. Gutiérrez y M. Reynolds, *Rev. Latin. Hist. Cien. Tec.* **16**, 63 (2014).
- [3] G. Tanamachi Castro y M. de la Paz Ramos Lara, *Rev. Mex. Inv. Edu.* **20**, 557 (2015).
- [4] M. Pérez, M. Legañoa y D. Travieso, *Rev. Ingenierías*, **III**, 37 (2000).
- [5] C. A. Osaba Rodríguez y L. Ruqué Álvarez, *Lat. Am. J. Phys. Educ.* **9**, 4403-1 (2015).
- [6] L. O. Mora Aguilera, "Sistema de saberes para el enfoque de profesionalización de la Física en la carrera de Ingeniería Industrial". Tesis de doctorado, Universidad de Holguín, Holguín, 2014.
- [7] Y. Acosta Gómez y F. O. Machín Armas, *Rev. Atlante: Cuad. Educ. Des.* **5**, 25 (2016).
- [8] J. P. Fiallo Rodríguez, *La interdisciplinariedad en la escuela*, (ICCP, La Habana, 2001), pp. 34-36.
- [9] H.D. Young y R.A. Freedman, *Física universitaria*, Volumen 1. 13ra Ed. (PEARSON, México, 2013). pp. 156-172.

---

This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0, <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) license.

