

Elemental, Coriolis. Una idea simple para la deducción de esa fuerza inercial

Jorge Sztrajman¹

¹Departamento de Ciencias Exactas, Ciclo Básico Común, Universidad de Buenos Aires, Ramos Mejía 841, CP 1405, Ciudad de Buenos Aires, Argentina.

E-mail: jsztraj@gmail.com

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Resumen

A partir de la consideración de un objeto fijo en un sistema inercial, tal como es visto desde una plataforma rotante, proponemos una estrategia para deducir, de manera sencilla, la expresión de la fuerza de Coriolis. Este enfoque evita el empleo del cálculo diferencial aplicado a los vectores, típico de las deducciones tradicionales. Así, la principal contribución de este trabajo consiste en facilitar la enseñanza de este tema, generalmente considerado avanzado, en etapas tempranas del ciclo universitario, y posibilitarlo incluso en la educación media.

Palabras clave: Fuerza de Coriolis, Sistemas no inerciales, Pseudofuerzas, Fuerzas ficticias, Enseñanza de la mecánica.

Abstract

From the consideration of a fixed object in an inertial system, as seen from a rotating platform, we propose a strategy to deduce, in a simple way, the expression of the Coriolis force. This approach avoids the use of calculus applied to vectors, typical of traditional deductions. Thus, the main contribution of this paper is to facilitate the teaching of the subject, generally considered advanced, in first years of college, and even in high school.

Keywords: Coriolis force, Non-inertial frames, Pseudoforces, Fictitious forces, Mechanics teaching.

I. INTRODUCCIÓN

El tema de las fuerzas inerciales, a veces llamadas ficticias o pseudofuerzas, suele ser poco tratado en los textos destinados a la educación media. Algunos de ellos se limitan a hacer una referencia a la fuerza centrífuga, pero no a la de Coriolis (Rela y Sztrajman, 2006). En muchos textos de nivel universitario la fuerza de Coriolis no aparece (ver por ejemplo, Feynman et al, 2015; Wilson y Buffa, 2000; Sears, 1991; Roederer, 2008; Tippens, 1999; Tipler y Mosca, 2005; Sears et al, 1998). En otros, se le dedica un espacio con un abordaje cualitativo (Tipler, 2001; Serway y Jewett, 2010; Resnick et al, 2000). También hay libros en los que se realiza un tratamiento cuantitativo, deduciendo la expresión de la aceleración de Coriolis, $\mathbf{a}_c = 2\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{v}$, mediante recursos de cálculo diferencial aplicado a vectores (Alonso y Finn, 2000; Kittel et al, 1996; Burbano de Ercilla et al, 2003). El uso de estas herramientas matemáticas avanzadas obstaculiza la enseñanza de la deducción de esta expresión en los primeros cursos de física universitaria y, con más razón, en el nivel medio. Por ese motivo, creemos que sería interesante introducir otros enfoques. Un ejemplo es el texto de Giancoli (2003), en el que se llega a la aceleración de Coriolis mediante una deducción alternativa, basada en el cálculo de desplazamientos y expresiones del movimiento uniformemente variado.

El aporte del presente trabajo es mostrar una vía breve y sencilla, que permita obtener la expresión de la fuerza de Coriolis sin recurrir a las herramientas matemáticas avanzadas del análisis vectorial.

II. ANTECEDENTES

La fuerza de Coriolis ha sido bastante tratada en las revistas dedicadas a la enseñanza de la física. Algunos artículos están dedicados a actividades para “sentir” los efectos de esa fuerza en el cuerpo (Johns, 2003). Otros están dedicados a la descripción de dispositivos experimentales para visualizar sus

efectos (Klebba y Stommel, 1951; Daw, 1987) o explicar sus manifestaciones en el caso de la rotación terrestre (Higbie, 1980). También aparecen intentos de arribar a la expresión matemática de la fuerza de Coriolis, aunque se sigue utilizando matemática muy compleja (Thompson, 1973) y acudiendo a otras magnitudes físicas, como el momento de inercia y la conservación del momento angular (Boyd y Raychowdhury, 1981).

III. LA FUERZA CENTRÍFUGA

Asumiremos que el alumnado tiene incorporada la noción de fuerza centrípeta, y la expresión para su cálculo. También que han incorporado la idea de fuerza centrífuga, como fuerza inercial introducida por observadores que aplican las leyes de la dinámica desde sistemas de referencia no inerciales. En efecto, para un observador subido a una plataforma en rotación uniforme, un objeto fijo a la plataforma tiene aceleración cero y fuerza cero. Explica esto agregándole a la fuerza centrípeta (real) que actúa sobre el objeto una fuerza inercial que la compense (centrífuga):

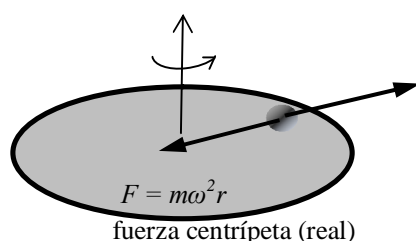


FIGURA 1. Un observador sobre una plataforma rotante agrega, a la fuerza centrípeta F , una fuerza centrífuga F' . De ese modo, sobre un objeto fijo a la plataforma, la fuerza total es cero.

IV. LA FUERZA DE CORIOLIS

Consideremos un objeto de masa m fijo al suelo. El objeto tiene aceleración cero, desde el punto de vista de un observador (inercial) fijo al suelo y la resultante de fuerzas sobre él también es cero¹:



FIGURA 2. Para un observador inercial, la aceleración y la fuerza sobre un objeto fijo al suelo son nulas.

Consideremos ahora ese mismo objeto, pero visto por otro observado subido a una plataforma que realiza una rotación uniforme con velocidad angular ω , en sentido antihorario. Para este otro observador (no inercial), el objeto está realizando una rotación uniforme en sentido horario. Igual que para todos los objetos, se muevan o no, este observador introduce una fuerza centrífuga $F' = m\omega^2 r$, donde r es la distancia del objeto al centro de la plataforma en rotación. Sin embargo, como el objeto es percibido realizando una rotación uniforme, el observador necesita que la fuerza *total* sobre el objeto sea una fuerza *centrípeta*, de valor $F = m\omega^2 r$, es decir una fuerza del mismo valor que la centrífuga pero dirigida hacia el centro de rotación. Se ve entonces obligado a introducir otra fuerza inercial, F'_c , de valor doble que la fuerza centrífuga, dirigida hacia el centro:

¹ En este razonamiento consideramos a la Tierra como un sistema inercial, despreciando sus movimientos de traslación, rotación y nutación.

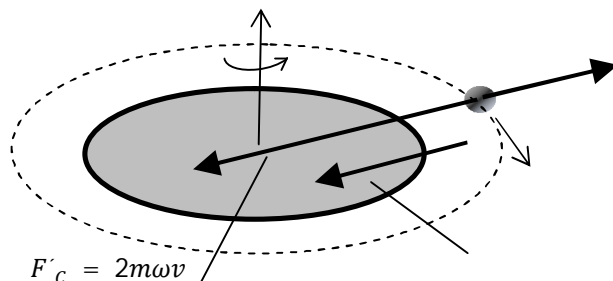


FIGURA 3. Un observador en rotación uniforme que ve un objeto fijo en un sistema inercial, agrega una fuerza dirigida hacia el centro de valor doble que la centrífuga. La resultante de ambas fuerzas es la fuerza centrípeta.

Así, para este ejemplo sencillo, la fuerza de Coriolis aparece para poder seguir aplicando el principio de masa desde la plataforma en rotación. Su módulo es $2m\omega v$ y su dirección resulta perpendicular a los vectores que representan la velocidad angular de la plataforma y la velocidad del cuerpo, relativa a la plataforma:

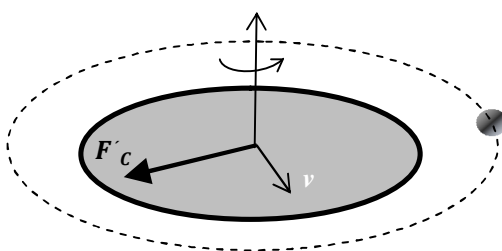


FIGURA 4. En términos del producto vectorial, podemos escribir $F_{Coriolis} = -m 2\omega \times v$, donde $2\omega \times v$ es la aceleración de Coriolis.

V. CONCLUSIONES

Hemos introducido una estrategia para deducir la expresión de la fuerza y la aceleración de Coriolis, sin recurrir a la complejidad del cálculo diferencial aplicado a vectores típica de la deducción tradicional. Confiamos en esta metodología sea de ayuda para quienes traten la física de los sistemas no inerciales en el nivel medio y en el primer ciclo universitario.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente soportado por un subsidio UBACyT.

REFERENCIAS

- Alonso, M. y Finn, E. (2000). *Física*. México: Addison Wesley Langman.
- Boyd, J. N. y Raychowdhury, P. N. (1981). Coriolis acceleration without vectors. *American Journal of Physics*, 49, pp. 498-499.
- Burbano de Ercilla, S., García, E. y Muñoz, C. (2003). *Física general* (32ª ed). Madrid: Tébar.
- Daw, H. (1987). Coriolis lecture demonstration. *American Journal of Physics*, 55, pp. 1010-1014.
- Feynman, R. P., Leighton, R. B. y Sands, M. (2015). *The Feynman Lectures on Physics, Volume 1: Mainly mechanics, radiation, and heat*. Miami: Books on Demand.
- Giancoli, D. C. (2003). *Física para universitarios, Vol. I* (3ra ed). México: Pearson Educación.

- Higbie, J. (1980). Simplified approach to Coriolis effects. *Physics Teacher*, 18, pp. 459-460.
- Johns, R. (2003). Coriolis Force on Your Arms. *Physics Teacher*, 41, pp. 516-517.
- Klebba, A. A. y Stommel, H. (1951). A Simple Demonstration of Coriolis Force. *American Journal of Physics*, 19, pp. 247.
- Kittel, C., Knight, W. D. Y Ruderman, M. A. (1996). *Berkeley Physics Course*, vol 1 (2da ed). Barcelona: Reverté pp. 134-135.
- Rela, A. y Sztrajman, J. (2006). *Física I*. Buenos Aires: Aique.
- Resnick, R., Halliday, D., Krane, K. (2000). *Física Vol.1* (3ra ed., 11a reimp). México: Compañía Editora Continental, pp. 134-135.
- Roederer, J. G. (2008). *Mecánica elemental* (2a ed. 2a reimp). Buenos Aires: Eudeba.
- Sears, F. W. (1991). *Mecánica, calor y sonido*. Barcelona: Aguilar.
- Sears, F. W., Zemansky, M. W., Young, H. D. y Freedman, R. A. (1998). *Física Universitaria* (9a ed). México: Addison Wesley Langman.
- Serway, R. A. y Jewett, J. W. (2010). *Física para ciencias e ingeniería, vol 1* (7a ed). México: Cengage Learning.
- Tipler, P. A. (2001). *Física para la ciencia y la tecnología, Vol. 1* (4ta ed). Barcelona: Reverté.
- Tipler, P. A. y Mosca, G. (2005). *Física para la ciencia y la tecnología, Volumen 1* (5ta ed). Barcelona: Reverté.
- Tippens, P. E. (1999). *Física, conceptos y aplicaciones*. México: McGraw-Hill.
- Thompson O. E. (1973). On the Demonstration and Interpretation of the Coriolis Effect. *Journal of Physics*, 41, pp. 247-255.
- Wilson, J. D. y Buffa, A. J. (2000). *Física* (5ta ed). México: Pearson Educación.