UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Revista de Topografía Azimut

http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/azimut

Revista de topografía Azimut

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

La importancia de los sistemas de referencia para el peralte en el diseño geometrico de las carreteras

The importance of reference systems on super elevation in geometric road design

Olga Lucía Godoy Morales[1]

Para citar este artículo: Godoy Morales, O. (2014). La importancia de los sistemas de referencia para el peralte en el diseño geometrico de carreteras. Bogotá, Colombia. Revista de Topografía Azimut, (5) pp

Fecha de recepción: 25 de febrero de 2014 Fecha de Aceptación: 8 de septiembre de 2014

Resumen

Los sistemas de referencia son esenciales para la resolución de problemas de la física y para aplicaciones en ingeniería. En este artículo se estudió el uso de los sistemas de referencia en el caso del diseño de curvas horizontales en carreteras con y sin peralte. Adicionalmente se demuestra que una adecuada escogencia del sistema de referencia evita el uso de las fuerzas ficticias. Es válido usar una fuerza centrífuga en sistemas de referencia acelerados, siempre y cuando se tenga presente que no es una fuerza real desde el punto de vista físico, sino un recurso matemático para aplicar sin violación de principios físicos las leyes de Newton, en un marco de referencia acelerado. Realizar el diseño de carreteras sin y con peralte desde un sistema de referencia inercial evita el uso de fuerzas centrífugas que físicamente no corresponde a fuerzas producto de interacciones físicas. Finalmente se discute el uso de las fuerzas ficticias como fuerzas reales en los textos de diseño geométrico de carreteras.

Palabras clave: carreteras, fuerzas ficticias, sistemas de referencia, peralte .

Abstract

Reference systems are an important tool for the description and solution of either physical or engineering problems. This article studied the use of reference systems in the case of road design in curves with or without super elevation. In addition it was shown that by analysing the problem from an inertial reference system is not necessary to use fictitious forces. It is valid to use a centrifugal force in accelerated reference systems as a mathematical resource but not as a real force from rigorous physical Newton Laws. Designing a road curve from an inertial reference system avoids the use of centrifugal forces that physically do not correspond to forces resulting from physical interactions. Finally, a discussion on the usage of fictitious vs real forces in the road design books is presented.

Keywords: fictitious forces, reference systems, road, super elevation.

[1]Física, magíster en Educación. Docente Tiempo Completo Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Proyecto Curricular en Tecnología en Topografía. Correo electrónico: ogodoy@udistrital.edu.co

INTRODUCCIÓN

El sistema de referencia que se escoja para describir el movimiento de un objeto afecta la descripción física que pueda hacerse de él y puede llevar a que un observador no inercial introduzca fuerzas ficticias. La existencia o no de las fuerzas ficticias, en particular de la fuerza centrífuga, es un tema vigente en la enseñanza de la física, si se tiene en cuenta que los capítulos sobre diseño de carreteras las incluyen en el desarrollo del tema de diseño de una carretera curva con o sin peralte. Las fuerzas ficticias se retoman en este artículo con el fin de aportar a su entendimiento, cuando su existencia es puesta en duda por cualquier observador inercial. Se muestra que la escogencia de un sistema de referencia adecuado evita su uso. Es válido emplear una fuerza ficticia –por ejemplo, una fuerza centrífuga en sistemas de referencia acelerados– siempre y cuando se tenga presente que no es una fuerza real desde el punto de vista físico, sino un recurso matemático para aplicar las leyes de Newton en un marco de referencia acelerado. Este artículo muestra que los resultados obtenidos en libros de carreteras (sistemas acelerados) y el desarrollo desde la física newtoniana y desde esta última mirada no es necesario introducir fuerzas centrífugas para su diseño.

1. Sistema de referencia

Cuando se describe el movimiento en física es importante establecer un sistema de referencia apropiado para analizar el movimiento. Este se define como el conjunto de coordenadas espacio-temporales utilizadas por un observador para medir la posición de un cuerpo o partícula en cualquier instante de tiempo. El sistema de coordenadas puede ser rectangular, polar, cilíndrico, esférico, entre otros.

Como diferentes observadores O y O' pueden utilizar diferentes sistemas de referencia, es importante establecer la relación entre los dos sistemas.

El caso más común es que un observador se encuentre en reposo y el otro se mueva con velocidad constante con respecto al primero.

1.1 Observador que viaja con velocidad constante respecto a otro observador en reposo.

Cuando existen dos observadores O y O' y el observador O' se mueve con respecto a O con velocidad uniforme v en la dirección x, y una partícula se encuentra en el punto A, en el sistema O' (figura **1**), las posiciones de una partícula medida por O y O' se relacionan a través de la siguiente expresión:

$$\vec{r'} = \vec{r} - \vec{v}t \qquad (1)$$

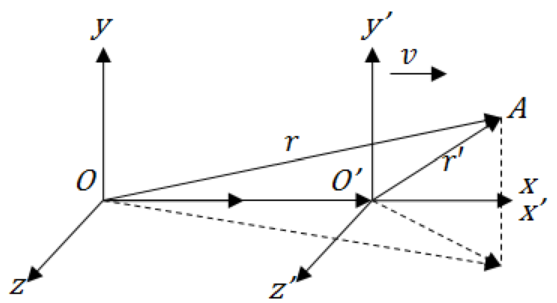

Figura 1: Sistemas de referencia O y O'

En $t = 0$ los dos sistemas O y O' coinciden y, en un tiempo posterior como se muestra en la tabla **1**, las coordenadas son:

Tabla 1: Coordenadas en cada sistema de referencia

	O	O'
$t = 0$	x, y, z	x', y', z'
$t \neq 0$	x, y, z	$(x - vt), y', z'$

La posición puede expresarse en sus tres componentes:

$$x' = x - vt \qquad y' = y \qquad z' = z \qquad (2)$$

ISSN 1090-647X ● ISSNe 2346-1055 ● No 5 (diciembre 2014). pp. 7-22

Además, se cumple que $t' = t$, es decir, las mediciones de tiempo, son independientes del movimiento del observador en un análisis no relativista como en este caso.

Si, además, la partícula cambia su posición en el tiempo en el sistema O', la velocidad de la partícula medida por O' es:

$$\vec{V'} = \langle \frac{dx'}{dt'}, \frac{dy'}{dt'}, \frac{dz'}{dt'} \rangle \tag{3}$$

Y la velocidad medida por O es:

$$\vec{V} = \langle \frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt}, \frac{dz}{dt} \rangle \tag{4}$$

Por la ecuacion 2

$$\vec{V'} = \langle \frac{d(x - vt)}{dt}, \frac{dy'}{dt}, \frac{dz'}{dt} \rangle \tag{5}$$

Por tanto,

$$\vec{V'} = \vec{V} - \vec{v} \tag{6}$$

Las componentes de velocidad medida por O' son:

$$V'_x = V_x - v, \quad V'_y = V_y, \quad V'_z = V_z \tag{7}$$

Por último, si la partícula se mueve en el sistema O' con una velocidad variable, la aceleración de la partícula medida desde el sistema O' es:

$$\vec{a'} = \frac{d\vec{V'}}{dt} = \frac{d(V' \vec{-} vt)}{dt} \tag{8}$$

Y la aceleración medida por O es:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{V}}{dt} \tag{9}$$

Debido a que la velocidad de translación de un sistema respecto al otro es constante, entonces:

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = 0 \tag{10}$$

y en consecuencia

$$\vec{a'} = \vec{a} \tag{11}$$

La aceleración expresada componente a componente

$$a'_x = a_x, \quad a'_y = a_y, \quad a'_z = a_z \tag{12}$$

Alonso & Finn (1986) afirman: "[...] ambos observadores miden la misma aceleración. Esto es, la aceleración de una partícula es la misma para todos los observadores en movimiento relativo de translación uniforme" (p. 125), es decir, desde el punto de vista de la cinemática ambos miden la misma aceleración, lo cual implica desde la dinámica, que los observadores identifican las mismas fuerzas cuando se realiza un diagrama de cuerpo libre sobre la partícula.

1.2 Observador que viaja con aceleración constante respecto a otro en reposo

Supongamos nuevamente dos observadores O y O' y una partícula que se encuentra en el punto A en el sistema O'. Ahora se supone que O' se mueve respecto a O con aceleración constante α en la dirección x, como se muestra en la figura **2**, es decir:

$$s = \frac{\alpha t^2}{2} \tag{13}$$

La posición de la partícula medida por O' es r' y la medida por O es r, la relación entre ellas es:

$$\vec{r'} = \vec{r} - \vec{s} \tag{14}$$

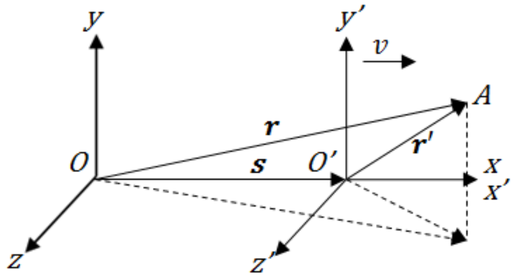

Figura 2: Sistemas de referencia O y O' Movimiento O' acelerado en la dirección x

El vector posición en sus componentes rectangulares es:

$$x' = x - \frac{\alpha t^2}{2}, \quad y = y', \quad z' = z \tag{15}$$

Si, además, la partícula cambia su posición en el tiempo en el sistema O', la velocidad de la partícula medida por O' es:

$$\vec{V'} = \langle \frac{dx'}{dt'}, \frac{dy'}{dt'}, \frac{dz'}{dt'} \rangle \tag{16}$$

Y la velocidad medida por O es:

$$\vec{V} = \langle \frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt}, \frac{dz}{dt} \rangle \tag{17}$$

La relación de las velocidades de las partículas medidas en los dos sistemas O y O' son:

$$\vec{V'} = \langle \frac{dx'}{dt'}, \frac{dy'}{dt'}, \frac{dz'}{dt'} \rangle =$$

$$\langle \frac{d(x - \frac{\alpha t^2}{2})}{dt}, \frac{dy'}{dt}, \frac{dz'}{dt} \rangle = \langle V_x - \alpha t, V_y, V_z \rangle \tag{18}$$

Por último, si la partícula se mueve en el sistema O' con una velocidad variable, la aceleración de la partícula medida desde el sistema O' es: $\mathbf{a}' = \frac{d\mathbf{V}'}{dt}$ y la medida por el observador O es:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{V'}}{dt} \tag{19}$$

Y la relación entre las aceleraciones de la partícula entre los dos sistemas es:

$$\vec{a'} = \frac{d\vec{V'}}{dt} = \frac{d}{dt} \langle V_x - at, V_y, V_z \rangle \tag{20}$$

La aceleración en sus componentes rectangulares es:

$$a'_x = a_x - \alpha, \quad a'_y = a_y, \quad a'_z = a_z \tag{21}$$

Por tanto, las aceleraciones medidas por los dos observadores, O y O', son diferentes. Desde el punto de vista dinámico esto significa que, a pesar que las leyes de fuerza desde el punto de O son:

$$\vec{F} = m\frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = \langle ma_x, ma_y, ma_z \rangle \tag{22}$$

Las componentes de la fuerza observadas por O' son:

$$\vec{F'} = m\frac{d^2 r'}{dt^2} \tag{23}$$

$$\vec{F'} = \langle ma'_x, ma'_y, ma'_z \rangle \tag{24}$$

Y la relación entre las fuerzas medidas por cada uno de los observadores es:

$$\vec{F'} = \langle ma'_x, ma'_y, ma'_z \rangle = \langle m(a_x - \alpha), ma'_y, ma'_z \rangle \tag{25}$$

$$F'_x = F_x - m\alpha, \quad F'_y = F_{y'}, \quad F'_z = F_z \tag{26}$$

Es decir, como el sistema de coordenadas de O' está acelerado con respecto a O, el término extra $m\alpha$ entra en escena, y O' tendrá que corregir sus fuerzas en esa cantidad para que funcionen las leyes de Newton. En otras palabras, he aquí una nueva fuerza aparente y misteriosa de origen desconocido, que aparece, por supuesto, porque O' tiene un sistema de coordenadas equivocado (Feymann, 1987, pp. 12-15).

El sistema de referencia que se escoja para describir el movimiento de un objeto afecta la descripción física del movimiento del objeto y puede llevar a que un observador no inercial introduzca fuerzas ficticias.

En estos dos marcos de referencia, los observadores no están de acuerdo con las fuerzas que identifican cuando se realiza un diagrama de cuerpo libre o representan las fuerzas sobre el objeto en estudio; sin embargo, obtienen resultados similares, por ejemplo, al calcular el coeficiente de fricción estática necesario para que un automóvil realice una curva.

2. Fuerzas ficticias o seudofuerzas

Son fuerzas que existen solamente de manera aparente para un observador que se encuentra en un sistema de referencia acelerado. Es una fuerza inexistente que se incluye para garantizar que las leyes de Newton se cumplen en este sistema. Según Resnick, Halliday & Krane (2002), "si queremos aplicar la mecánica clásica en los marcos no inerciales, es necesario introducir otras fuerzas conocidas como 'seudofuerzas" (p. 103).

Entre los ejemplos más comunes de sistemas acelerados están: una persona que viaja en automóvil y este va a realizar un giro; un péndulo que se encuentra suspendido en un tren en movimiento uniforme acelerado; el movimiento del carrusel o un astronauta que experimenta una fuerza de ingravidez cerca de la Tierra.

Cuando una persona viaja en un automóvil en una carretera en línea recta y el conductor gira el auto para ingresar a una curva de la carretera, un pasajero tiende a deslizarse en el asiento. Usualmente él atribuye este movimiento a la acción de una fuerza centrífuga. Su razonamiento es que, si se movió de su lugar original, *"algo"* causó este movimiento, y lo atribuye a una fuerza ficticia que el pasajero suele llamar *fuerza centrífuga* y que va en dirección opuesta al giro del carro. El pasajero está describiendo el movimiento desde un sistema de referencia (el auto) llamado *no inercial* porque cambia su dirección de movimiento.

Un observador en la carretera afirma que la trayectoria lineal que intenta seguir el pasajero es consecuencia de la primera ley de Newton, es decir, la ley de la inercia, como es el caso de una persona que se encuentra en reposo sobre el pavimento. Ambos observadores describen de manera diferente el mismo fenómeno.

Para evitar este tipo de conflictos sobre quién está describiendo correctamente la fuerza, es necesario escoger un sistema de referencia apropiado y realizar un diagrama correcto de cuerpo libre.

3. Diagramas de cuerpo libre

Un diagrama de cuerpo libre es una representación gráfica empleada en la física para analizar las fuerzas que actúan sobre un cuerpo, y evaluar de esta manera su dinámica. En este solo se dibujan las fuerzas reales. El cuerpo se representa como un punto en el origen de coordenadas, sobre el cual se dibujan las fuerzas que actúan sobre él, con vectores que indican sus respectivas direcciones y magnitudes. Es importante precisar que los vectores siempre se representan con su origen coincidente con el sistema de coordenadas.

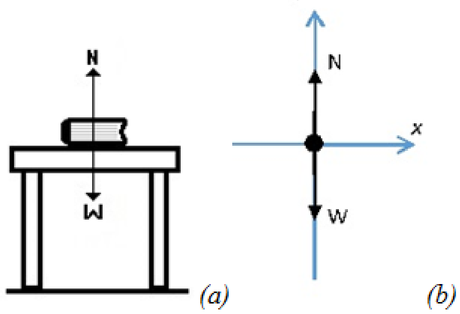

Figura 3: Fuerzas sobre el libro y diagrama de cuerpo libre para un libro

Se considera como ejemplo un libro sobre una mesa, como se muestra en las figuras **3**a y **3**b.

Las dos fuerzas que actúan sobre el libro han sido indicadas como la fuerza normal N, y el peso W. La primera es la fuerza que ejerce la mesa sobre el libro y la segunda, la fuerza de atracción gravitacional que ejerce la Tierra sobre el libro.

En la realización de diagramas de cuerpo libre hay que tener en cuenta que no se incluyen las fuerzas de reacción porque si bien estas son reales, no corresponden a fuerzas ejercidas sobre el objeto en estudio; por el contrario, las que él ejerce sobre terceros, cuya dinámica no es objeto de estudio.

En física, toda fuerza que es un producto de interacciones entre cuerpos en contacto o con un campo es una *fuerza real*. Como consecuencia de la tercera ley de Newton, es posible identificar las respectivas fuerzas de reacción. En el caso expuesto anteriormente, la normal, N', es la fuerza que ejerce el libro sobre la mesa, y el peso, W', es la fuerza de gravitación que ejerce el libro sobre la Tierra, como se aprecia en la figura **4**; por tanto, el peso y la fuerza normal son fuerzas reales, es decir, es posible identificar su fuerza de reacción.

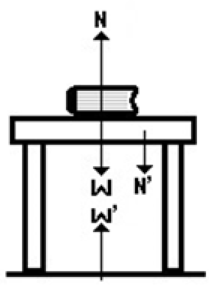

Figura 4: Pares de acción y reacción

Las fuerzas de reacción satisfacen que son de la misma naturaleza que la fuerza de acción, es decir, la reacción a una fuerza normal es otra fuerza normal, la reacción a una fuerza gravitacional es otra fuerza gravitacional, la reacción a una tensión es una fuerza de tensión, además las fuerzas de acción y reacción siempre actúan sobre objetos diferentes.

A modo de conclusión, las fuerzas ficticias, como por ejemplo, la fuerza centrífuga, no son fuerzas físicas reales porque no satisfacen la tercera ley de Newton, es decir, no es posible identificar la fuerza de reacción.

4. Dinámica del movimiento circular

La segunda ley de Newton establece que para un observador inercial, la resultante de las fuerzas F que actúan sobre un cuerpo de masa m es igual al producto de la masa m por la aceleración, la cual se origina por los cambios del vector velocidad.

La aceleración va en la dirección del cambio de la velocidad, por lo cual, en un movimiento circular va dirigida en dirección radial y se llama *aceleración centrípeta o radial*.

$$\sum \vec{F_r} = m\vec{a_c} \tag{27}$$

Nunca debe aparecer en un diagrama de cuerpo libre la “fuerza centrípeta o centrífuga”, por no ser una fuerza ejercida por masas o campos. Lea y Burke (1999), afirman: “No es otro tipo de fuerza; lo que describe es el efecto de una o más fuerzas del diagrama” (p. 147).
La fuerza centrípeta es el nombre que se le da a la fuerza radial responsable que el movimiento circular ocurra. A continuación se desarrolla un ejemplo que permite una mejor comprensión del concepto.

4.1 Dinámica del movimiento circular aplicada al diseño de carreteras

Cuando una partícula se mueve en un círculo de radio r con rapidez constante v, un observador inercial mide una aceleración de magnitud $v^{2/r}$ dirigida hacia el centro. Esta aceleración se denomina *centrípeta* y, según la segunda ley de Newton, requiere una fuerza

ISSN 1090-647X ● ISSNe 2346-1055 ● No 5 (diciembre 2014). pp. 7-22

neta dirigida hacia el centro del círculo para que ocurra el movimiento.

Como ya se mencionó, la fuerza centrípeta no es un tipo de fuerza ejercida por un agente; es solo el nombre de la fuerza resultante que debe apuntar hacia el centro del círculo para proporcionar la aceleración centrípeta necesaria para que el cuerpo realice el movimiento circular uniforme.

Al girar los neumáticos, la parte de la llanta que está en contacto con la carretera se encuentra momentáneamente en reposo respecto de esta. Lo que impide que el auto derrape saliéndose de la carretera es la *fuerza de rozamiento estática* que actúa radialmente hacia el centro, permitiendo que el auto siga su trayectoria circular. Esta fuerza es paralela a la superficie de la carretera y perpendicular a la línea central del automóvil, como se muestra en la figura **5** para un vehículo que se desplaza por una carretera plana. Esta es la única fuerza horizontal dado que el peso y la fuerza normal son ambas verticales. Si la curva es pronunciada, la rapidez tangencial es alta y, por tanto, la fuerza de rozamiento necesaria para que el automóvil se mantenga en la curva puede ser más grande que la fuerza de rozamiento máxima posible entre los neumáticos y el pavimento, y es posible que el carro siga una trayectoria tangente a la trayectoria.

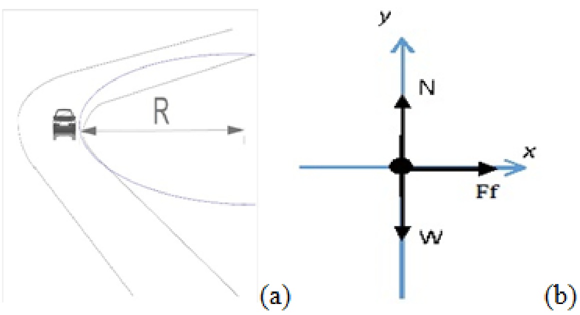

Figura 5: Dibujo y diagrama de cuerpo libre para un auto que realiza una curva según un observador inercial

$$\sum F_y = N - W = 0 \tag{28}$$

$$\sum F_r = f_f = \mu_s N = \frac{mv^2}{R} \tag{29}$$

$$\mu_s N = \frac{mv^2}{R} \tag{30}$$

Por consiguiente, la máxima rapidez para que el auto no se deslice es:

$$v = \sqrt{\mu_s g R} \tag{31}$$

Sin embargo, en el diseño de carreteras, las curvas se diseñan con peralte para evitar que la fuerza centrípeta sea solamente la fuerza de fricción estática, y si la rapidez del automóvil es correcta, el automóvil puede realizar el giro aún en una carreta con un coeficiente de fricción pequeño o cero entre los neumáticos y la carretera, por ejemplo en una carretera con hielo o húmeda.

5. Análisis desde un observador inercial para el diseño de carreteras

Al realizar una revisión bibliográfica del tema, en libros textos de ingeniería (Kramer, 2003; Carciente, 1965; Hernández, 2005; Chocontá, 2004), se encuentra que el desarrollo de este aspecto es similar al realizado por Cárdenas (2004) –de uso frecuente por parte de los profesores y estudiantes en los cursos de diseño de carreteras–, quien no precisa en qué sistema de referencia está describiendo el movimiento del carro, así que al introducir la fuerza centrífuga, es posible afirmar que está trabajando en un sistema de referencia no inercial. Por tanto, él está describiendo el movimiento del auto desde el punto de vista de un pasajero que viaja en el auto.

A continuación se desarrolla la dinámica de un automóvil que gira en una carretera, pero desde un observador inercial, es decir, desde un observador en reposo que se encuentra fuera del vehículo.

- *Caso I. Carretera sin peralte con fricción (el desarrollo matemático corresponde al realizado en la sección "Dinámica del movimiento circular")*
- *Caso II. Carretera con peralte sin fricción*

Primero se realiza un diagrama de cuerpo libre para esta situación. Físicamente se requiere de una fuerza neta en la dirección radial para que el automóvil gire, al analizar el problema desde un observador que se encuentre sobre la carretera (observador inercial), y despreciando la fuerza de fricción se obtienen los mismos resultados y no es necesario introducir fuerzas ficticias como recurso matemático para aplicar la segunda ley de Newton (figuras **6**a y **6**b) (Tipler & Mosca, 2005, p.115) afirman: "La fuerza normal ejercida por la pista sobre el coche tiene un componente horizontal dirigido hacia el centro del círculo para proporcionar la fuerza centrípeta".

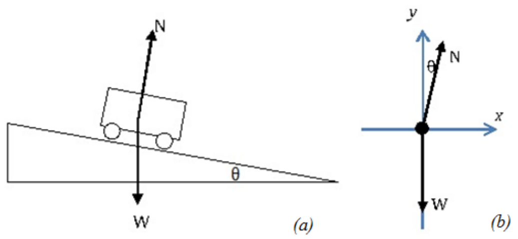

Figura 6: Fuerzas y diagrama de fuerzas para un observador inercial

$$\sum F_y = N\cos\theta - W = 0 \quad (32)$$

$$N\cos\theta = W = mg \quad (33)$$

$$\sum F_r = N sen\theta = \frac{mv^2}{R} \quad (34)$$

Al dividir la ecuación 34 en la ecuación 33, se encuentra que:

$$tg\ \theta = \frac{v^2}{gR} \quad (35)$$

Físicamente es posible peraltar una curva con el ángulo apropiado, de tal manera que los automóviles que viajen con una rapidez constante adecuada no necesiten la fuerza de fricción para mantenerse en el radio del círculo, el cual corresponde con el mismo valor del coeficiente de fricción que se obtiene cuando se resuelve el problema visto desde un observador no inercial y no es necesario introducir fuerzas ficticias.

- *Caso III. Carretera con peralte con fricción*

Un observador inercial que se encuentra en la carretera, identifica las fuerzas que se aprecian en la figura **??**.

Físicamente es un caso posible porque se requiere una fuerza neta en la dirección radial; de esta forma la magnitud de la fuerza de fricción debe ser mayor a la componente radial del peso.

$$\sum F_r = N\ sen\theta + f_s\cos\theta = \frac{mv^2}{R} \quad (36)$$

$$N\ sen\theta + \mu_s N\cos\theta = \frac{mv^2}{R} \quad (37)$$

$$N(sen\theta + \mu_s\cos\theta) = \frac{mv^2}{R} \quad (38)$$

$$\sum F_y = N\cos\theta - W - f_s\ sen\theta = 0 \quad (39)$$

$$N\cos\theta - \mu_s N\ sen\theta = mg \quad (40)$$

Por tanto,

$$N = \frac{mg}{\cos\theta - \mu_s\ sen\theta} \quad (41)$$

Reemplazando la ecuación (41) en la ecuación (37)

$$\frac{mg(sen\theta + \mu_s\cos\theta)}{(\cos\theta - \mu_s sen\theta)} = \frac{mv^2}{R} \quad (42)$$

$$g(sen\theta + \mu_s\cos\theta) = \frac{v^2(\cos\theta - \mu_s sen\theta)}{R} \quad (43)$$

$$\mu_s(g\cos\theta + \frac{v^2}{R}sen\Theta) = \frac{v^2}{R}cos\theta - gsen\theta \quad (44)$$

$$\mu_s = \frac{\frac{v^2}{R}\cos\theta - gsen\theta}{(g\cos\theta + \frac{v^2}{R}sen\theta)} \quad (45)$$

Multiplicando y dividiendo por la masa m

$$\mu_s = \frac{F\cos\theta - Wsen\theta}{Fsen\theta + W\cos\theta} \quad (46)$$

Para ángulos pequeños $sen\ \theta$ es aproximadamente cero, por consiguiente,

$$\mu_s = \frac{F\cos\theta - Wsen\theta}{W\cos\theta} = \frac{F}{W} - tg\ \theta \quad (47)$$

El cual corresponde con el mismo valor del coeficiente de fricción que se obtiene cuando se resuelve el problema visto desde un observador no inercial. Lo interesante de este análisis es que no es necesario introducir fuerzas ficticias.

Al comparar las ecuaciones encontramos que los desarrollos matemáticos son diferentes, los resultados son similares pero las interpretaciones físicas para los observadores inercial y no inercial, son disímiles.

En el caso del observador no inercial los ingenieros en sus textos sobre diseño de vías e ingeniería de carreteras se ven obligados a introducir una fuerza ficticia llamada *fuerza centrífuga* para garantizar que el carro esté en equilibrio. Sin embargo, lo importante en este caso es tener claridad conceptual en que esta no es producto de una interacción entre los objetos, sino una fuerza que se vuelve un recurso matemático para poder aplicar la segunda ley de Newton a sistemas de referencia no inerciales o acelerados. No existe físicamente; nada lo intenta sacar del auto; solo la segunda ley de Newton afirma que si hay una sumatoria de fuerzas diferente de cero el cuerpo de masa m experimentará una aceleración.

DISCUSIÓN

Una indicación de que las fuerzas ficticias, como la fuerza centrífuga, no son fuerzas newtonianas es que no satisfacen la tercera ley de Newton; por tanto, no es posible identificar la fuerza de reacción.

Las fuerzas ficticias deben incluirse en la descripción de un sistema físico cuando la observación se realiza desde un sistema de referencia no inercial y, a pesar de ello, se insiste en usar las leyes de Newton. Es decir, la introducción de fuerzas ficticias hace posible la descripción de un sistema físico usando, por ejemplo, un sistema de referencia uniformemente acelerado o un sistema de referencia fijo a un cuerpo que rota uniformemente
La fuerza ficticia es un recurso matemático utilizado por observadores no inerciales pero no corresponde a una interacción física.

CONCLUSIÓN

Realizar el diseño de carreteras sin y con peralte desde un sistema de referencia inercial evita el uso de fuerzas centrifugas que físicamente no corresponde a fuerzas productos de interacciones físicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alonso, M., & Finn, E. (1986). Física. Volumen I: Mecánica. Delaware: Addison-Wesley Reverté Iberoamericana.

Carciente, J. (1965). Carreteras. Estudio y proyecto. 2a. ed. Caracas: Ediciones Vega.

Cárdenas, J. (2004). Diseño geométrico de vías. Bogotá: Ecoe Ediciones.

ISSN 1090-647X ● ISSNe 2346-1055 ● No 5 (diciembre 2014). pp. 7-22

Chocontá, P. (2004). Diseño geométrico de vías. 2a. ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Feymann R. (1987). Física. Volumen I: Mecánica, radiación y calor. Delaware: Addison-Wesley Iberoamericana.

Hernández, F. (2005). Diseño geométrico de vías. Bogotá: Tercer Mundo Editores.

Kramer, C. (2003). Ingeniería de carreteras. Vol. I. Madrid: Editorial Mc Graw Hill.

Lea, S. y Burke, R. (1999) Física. La naturaleza de las cosas. 1a. ed. México: Thompson Ediciones.

Resnick, R.; Halliday, D. y Krane, K. (2002). Física. Vol. I. México: CECSA.

Tipler, P., & Mosca, G. (2005). Física para la ciencia y la tecnología vol. 1. Barcelona: Editorial.