



*Omar Mireles  
Samuel Rodríguez  
Daniel Chávez*

Instituto Multidisciplinario de Estudios Experimentales

Tópicos de Hechos de Tránsito

# Método de Vías

La Física en las Ciencias Forenses



modo en tiempo real activo

Actualización Pericial

Colección Ciencias Forenses

PRIMERA EDICIÓN  
2019



$$f_x \Delta x + f_y \Delta y$$

$$f_x \Delta x + f_y \Delta y$$

Omar Mireles  
Samuel Rodríguez  
Daniel Chávez

Tópicos de Hechos de Tránsito  
**Método de Vías**  
La Física en las Ciencias Forenses  
**Primera Edición**



Instituto Multidisciplinario de Estudios Experimentales  
Actualización Pericial  
Colección Ciencias Forenses

Copyright© Instituto Multidisciplinario de Estudios Experimentales  
Correo Electrónico: imulexp@gmail.com  
División de Ciencias Forenses  
Apdo. 45200, Zapopan  
Teléfono (521)3314808390  
Edición de Textos Científicos en Ciencias Forenses  
ISBN 978-8977-66-237-6

Instituto Multidisciplinario de Estudios Experimentales  
Colección Ciencias Forenses  
imulexp@gmail.com  
www.edu.imulexp.com

#### Licencia



Este libro se distribuye bajo licencia Creative Commons: Atribución-Comercial-Sin Derivas CC BY-C-ND. Usted puede utilizar este material conforme con la licencia. Usted puede obtener una copia de la licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-c-nd/3.0/>. En particular, esta licencia permite copiado y distribución gratuita, pero no venta ni modificación del material. Límite de responsabilidad y exención de garantía: El autor o los autores han hecho su mejor esfuerzo en la preparación de este material. Esta edición se proporciona "tal cual". Se distribuye por parte del Instituto Multidisciplinario de Estudios Experimentales con la esperanza de que sea útil, pero sin ninguna garantía expresa o implícita respecto a la exactitud o completitud del contenido. El material publicado en esta obra expresa la opinión de sus autores y no necesariamente la opinión de IMULEXP.

$$f_x \Delta x + f_y \Delta y$$

## SOBRE LOS AUTORES



mireles.ceo@gmail.com

### OMAR MIRELES LOERA

- \* Lic en Física
- \* Dr en Física Aplicada
- \* Perito Auxiliar del Consejo de la Judicatura del Estado de Jalisco
- \* Profesor Invitado de la Maestría en Ciencias Forenses de la UdeG
- \* Investigador Invitado del IJCF
- \* Consultor de PEMEX
- \* Consultor SEDENA



samuelfr@gmail.com

### SAMUEL RODRÍGUEZ MONDRAGÓN

- \* Ingeniero en Nanomateriales
- \* Perito Auxiliar del Consejo de la Judicatura del Estado de Jalisco



acuarios1521@yahoo.com.mx

### DANIEL CHÁVEZ HERNÁNDEZ

- \* TSU en Mantenimiento de Maquinaria Pesada
- \* TSU en Mantenimiento Industrial
- \* Ingeniero Industrial
- \* Perito Auxiliar del Consejo de la Judicatura del Estado de Jalisco
- \* Capacitador Certificado STPS

$$f_x \Delta x + f_y \Delta y$$

**Omar Mireles  
Samuel Rodríguez  
Daniel Chávez**

---

# Método de Vías

---

**Instituto Multidisciplinario de Estudios Experimentales  
IMULEXP**



$$f_x \Delta x + f_y \Delta y$$

## PROLOGO

---

A lo largo de la historia de la humanidad, se ha hecho evidente la curiosidad del hombre por lo que no se puede explicar; fenómenos naturales que ocurren en el acontecer de la vida cotidiana y se vuelven parte de nuestras costumbres, incuestionables, y que actualmente son considerados cosas simples que no llaman la atención del ser humano, puesto que ya se explicó y se descifró lo que su naturaleza escondía, por ejemplo ninguno de nosotros nos preguntamos ¿por qué caen los objetos al suelo? ¿por que al girar en una curva, cuando vamos en un vehículo, sentimos que nos salimos de él?, Tampoco dimensionamos lo pequeños que somos como planeta, en comparación con el universo, esas cosas a las que no les prestamos tanta atención son las que poco a poco describen que tan grande puede llegar a ser nuestra curiosidad.

Un claro ejemplo lo encontramos si nos transportamos a la época de los antiguos griegos, un grupo de personas que se sentaban a filosofar, cuestionar y dialogar sobre lo que ocurría a su alrededor, esos filósofos que nos dieron los primeros conocimientos en matemáticas, gracias a ellos podemos saber el área de un triángulo equilátero, un cuadrado, un rectángulo y un círculo, ellos fueron los que sentaron las bases de la ciencias en ámbitos de:

## PROLOGO

---

física, astronomía y ciencias naturales, alguien a quien podemos considerar como físico, matemático, ingeniero, astrónomo y filósofo, nacido en Italia un 15 de Febrero de 1564, el Gran Galileo Galilei.

Poco más de un siglo más adelante y no menospreciando sus aportaciones en el ámbito matemático, la curiosidad llevo de nuevo a dos personas nacidas en distintos países a revolucionar las matemáticas como se conocían en ese tiempo, hablamos de alguien nacido en Leipzig, Alemania un 1 de Julio de 1646, quien llevo el nombre de Gottfried Wilhelm Leibniz y de otro personaje más conocido, quien vio la luz de este mundo por primera vez en Woolsthorpe Manor, Reino Unido, el 4 de enero de 1643, Sir Issac Newton, quienes se les atribuye la creación del cálculo, pero a Sir Issac Newton a quien su curiosidad no lo dejó en paz, le debemos obras como «Optiks: Or, A Treatise of The Reflections, Refractions, Inflections and Colours of Light» que nos habla sobre las propiedades básicas de la luz, como con un prisma la luz se separa en una banda de colores mediante un prisma; «Philosophie Naturalis Principia Mathematica» conocida como los principia de Newton, las leyes de la dinámica entre muchos otros aportes no menos importantes.

## PROLOGO

---

En la presente obra se van a tratar temas relacionados con la Física de Newton (Dinámica), el cálculo y conceptos de Física que usamos a diario y muchas veces son tomados de manera errónea, cosas simples, que sin darnos cuenta contienen años de ardua investigación, horas de experimentación y fallas, hasta rozar el límite con la perfección. Se les está entregando una obra en la que se incita a la curiosidad y la duda, y se plasma, sobre todo, un método matemático que se ajusta a la dinámica de un trágico accidente vial. La falta de un método matemático en esta área llevó a la creación del presente, como lo marca la historia narrada en el presente libro, el resultado que se va a exponer y el método como tal, requirió de muchísimas horas de prueba y error , cálculos que rozaban en el absurdo matemático, intentos de reproducción del evento de manera virtual, para descubrir esa cantidad de conceptos correctos que aplican, describen y responden a las preguntas ¿Qué pasó? ¿Cómo pasó? y ¿Por qué pasó?

**«Si he visto más lejos es porque estoy  
sentado en hombros de gigantes»**

frase escrita por Sir Issac Newton  
y extraída de una carta a Robert Hooke.

*Samuel Rodríguez*

$$f_x \Delta x + f_y \Delta y$$

# ÍNDICE GENERAL

## 1

### FUNDAMENTOS DE FÍSICA

1.1 Movimiento Rectilíneo Uniforme . . . . .	1
1.1.1 Rapidez Promedio . . . . .	4
1.1.2 Velocidad . . . . .	8
1.1.3 Aceleración Constante . . . . .	10
1.2 Fricción . . . . .	17
1.3 Movimiento Circular . . . . .	21
1.3.1 Rapidez de Rotación . . . . .	22
1.3.2 Fuerza Centrípeta . . . . .	25

## 2

### ESTRUCTURA DEL MÉTODO DE VÍAS

2.1 Rapidez Final . . . . .	29
2.2 Distancia Final . . . . .	32
2.3 Rapidez final independiente del tiempo	35
2.4 Movimiento en un círculo . . . . .	37
2.4.1 Rapidez Radial . . . . .	38
2.4.2 Rapidez máxima a la que se puede recorrer una trayectoria circular	42

## 3

### APLICACIONES

3.1 Ubicación del Lugar del Hecho . . . . .	47
3.2 Identificación de Vías de Circulación . . . . .	48
3.3 Determinación del Radios de Giro . . . . .	50
3.4 Determinación de la Velocidad Máxima	53

$$f_x \Delta x + f_y \Delta y$$

## INTRODUCCIÓN

El Método de Vías es un método criminalístico aplicado a los hechos de tránsito terrestre con el cual se pretende encontrar los valores frontera máximos que puede alcanzar un automóvil según sus características de diseño y las condiciones generales de la vía de circulación, y que nos sirve para tener un panorama general del campo de velocidades sin tener que recurrir a los testimonios, lo cual nos permite conservar la objetividad a la hora de realizar los cálculos de las velocidades de impacto y por ende estar apegados todo el tiempo a una estricta metodología científica.

El método en su conjunto se basa en una fundamentación física de la mecánica clásica, la que combina elementos de movimiento rectilíneo uniforme y movimiento circular, lo que no lo hace aplicable de manera general a cualquier problema.

Las variables que debemos de considerar a la hora de aplicar el método son: tiempo, rapidez radial, rapidez lineal, potencia del motor y radio de curvatura de las vías de circulación, lo que a su vez nos da un panorama muy general de las situaciones donde el método puede ser aplicado.

# INTRODUCCIÓN



## Condiciones físicas de aplicación del Método de Vías

1. **Movimiento Rectilíneo Uniforme**
2. **Aceleración Constante**
3. **Tiempos Cortos**
4. **Conocer la Velocidad Inicial**
5. **Curvas sin Peralte**

## CAPITULO 1

### FUNDAMENTOS DE FÍSICA

Tomando en consideración que algunos de los lectores tuvieron su último encuentro con la física tal vez en bachillerato, y ya que esta obra no tiene la intención de funcionar como un curso formal de física, sino solamente, explicar aquellos conceptos que resultan necesarios para poder trabajar y entender el Método de Vías, iniciamos este capítulo con una actividad dirigida al lector y donde este recordara algunos de los conceptos básicos de la física.

#### Actividad

#### CONTESTA Y JUSTIFICA

1. ¿Qué es una magnitud?
2. ¿Qué es un vector?
3. ¿Qué es un escalar?
4. Define el concepto de rapidez
5. Define el concepto de velocidad
6. Define el concepto de aceleración
7. ¿La rapidez es un vector o un escalar?
8. ¿La aceleración es un vector o un escalar?
9. ¿La velocidad es un vector o un escalar?
10. ¿El tiempo es un vector o un escalar?
11. El velocímetro de un auto que viaja hacia el norte indica 60 km /h. Por el carril contrario pasa otro auto hacia el sur a 60 km/h.
  - a) ¿Tienen ambos autos la misma rapidez?
  - b) ¿Tienen ambos autos la misma velocidad?

## 1.1 Fundamentos de Física

### Movimiento Rectilíneo Uniforme

#### Concepto

#### MOVIMIENTO RECTILÍNEO UNIFORME



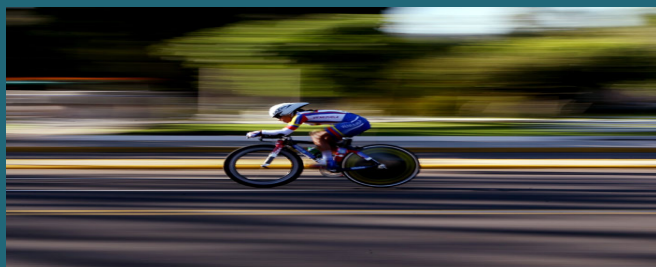
El movimiento rectilíneo uniforme es aquel en el que la trayectoria es una línea recta y la velocidad es constante.

Hay movimientos por todas partes a nuestro alrededor. Lo vemos en la actividad cotidiana de las personas, de los vehículos que pasan por la carretera, en los árboles que se mecen con el viento y con un poco de paciencia, lo vemos en las estrellas por la noche. En el nivel microscópico hay movimiento que no percibimos directamente: los átomos en movimiento producen calor y sonido, los electrones que fluyen hacen la electricidad y los electrones que vibran dan origen a la radio y la televisión. Incluso la luz que nos permite ver el movimiento tiene su origen en el movimiento de los electrones en los átomos. El movimiento está en todas partes.

Es fácil reconocer el movimiento, pero no lo es tanto describirlo. Hasta los científicos griegos de hace más de 2000 años, que entendían muy bien muchas de las ideas de física que estudiamos hoy en día, tenían grandes dificultades para describir el movimiento. Y no lo consiguieron porque no entendían el concepto de *razón de cambio*. Una cantidad dividida entre el tiempo es una razón de cambio, la cual nos dice qué tan aprisa ocurre algo, o cuánto cambia una cantidad en un cierto intervalo de tiempo. Por lo anterior podemos definir a la rapidez como:

### Concepto

### RAPIDEZ



Es la razón de cambio de un objeto en movimiento que recorre una cierta distancia en un tiempo determinado.

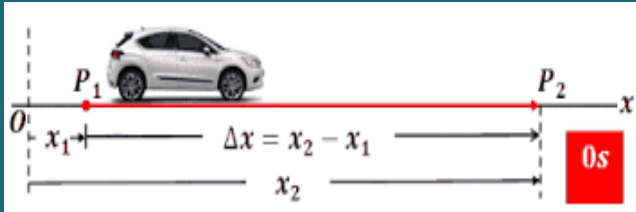
Un auto, por ejemplo, recorre un cierto número de kilómetros en una hora. La rapidez se define como la distancia recorrida por unidad de tiempo, aclarando que la palabra "por" significa "dividido entre". Otra forma de entender la rapidez es como una medida de qué tan rápido se mueve un objeto.

## 1.1.1 Movimiento Rectilíneo Uniforme

### Rapidez Promedio

#### Concepto

#### RAPIDEZ PROMEDIO



La rapidez promedio se define como la relación entre la distancia total recorrida y el tiempo total empleado durante "todo" el viaje de un vehículo sin tener en cuenta los detalles particulares del movimiento (si aceleró, se detuvo o frenó).

Cuando alguien planea realizar un viaje en auto, a menudo le interesa saber cuánto tiempo le tomará recorrer cierta distancia. Desde luego, el auto no viajará con la misma rapidez durante todo el recorrido. Al conductor le interesa sólo la rapidez promedio para la totalidad del trayecto.

La rapidez promedio se define como:

$$\text{rapidez promedio} = \frac{\text{distancia total recorrida}}{\text{intervalo de tiempo}}$$

Puesto que la rapidez promedio es la distancia recorrida dividida entre el tiempo total del viaje, no indica las variaciones de rapidez que pueden ocurrir durante el trayecto.

La rapidez promedio se calcula con facilidad. Por ejemplo, si recorremos una distancia de 60 kilómetros en un tiempo de 1 hora, decimos que nuestra rapidez promedio es de 60 kilómetros por hora (60 km/h). O bien, si recorremos 240 kilómetros en 4 horas veremos que:

$$\text{rapidez promedio} = \frac{\text{distancia total recorrida}}{\text{intervalo de tiempo}}$$

$$v = \frac{d}{t} = \frac{240 \text{ km}}{4 \text{ h}} = 60 \text{ km/h}$$

En la práctica experimentamos diversas rapidezces en la mayoría de nuestros viajes, de modo que la rapidez promedio suele ser muy diferente de la rapidez instantánea. Ya sea que hablemos de rapidez promedio o de rapidez instantánea, nos referimos a la razón de cambio a la cual se recorre la distancia.

Lo anterior se puede expresar en forma matemática como:

$$v = \frac{x_f - x_o}{t_f - t_o}$$

donde

$x_f$  = posición final

$x_o$  = posición inicial

$t_f$  = tiempo final

$t_o$  = tiempo inicial

## 1.1.2 Movimiento Rectilíneo Uniforme

### Velocidad

En el lenguaje cotidiano empleamos las palabras rapidez y velocidad de manera indistinta. En física hacemos una distinción entre ellas. De manera muy sencilla, la diferencia es que la velocidad es una rapidez en una dirección determinada. Cuando decimos que un auto viaja a 60 km/h estamos indicando su rapidez. Pero si decimos que un vehículo se desplaza a 60 km/h hacia el norte estamos especificando su velocidad. La rapidez describe qué tan aprisa se desplaza un objeto; la velocidad nos dice qué tan aprisa lo hace y en qué dirección.

Para el Método de Vías, la expresión más importante de la velocidad es la que se adquiere al suponer una aceleración constante (lo que se demostrará en el siguiente capítulo), la que matemáticamente se representa de la siguiente manera:

$$v = \sqrt{v_0^2 + 2a(x - x_0)}$$

donde

$v_0$  = velocidad inicial

$a$  = aceleración

$x - x_0$  = distancia recorrida

Actividad

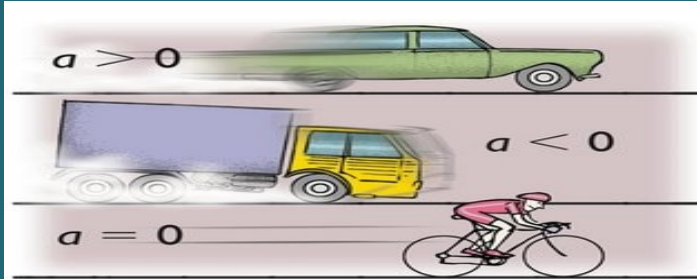
**CONTESTA Y EXPLICA**

1. El velocímetro de un automóvil tiene también un odómetro que registra la distancia recorrida. Si la lectura del odómetro es cero al comienzo de un viaje y 35 km media hora más tarde, ¿cuál es la rapidez promedio?
2. Si una motocicleta es capaz de mantener una rapidez constante de 25 m/s, recorrerá 25 metros cada segundo. En estas condiciones:
  - a) ¿qué distancia recorrerá en 10 segundos?
  - b) ¿qué distancia recorrerá en 1 minuto?
3. Si los seres humanos tuvieron su origen en África y emigraron a otras partes del mundo, habría sido necesario cierto tiempo para que esto sucediese. A razón de la modesta rapidez de un solo kilómetro por año, ¿cuántos siglos se necesitarían para que los seres humanos originarios de África emigrasen a China, que está a unos 100 000 kilómetros de distancia?
4. Es bien sabido que la luz viaja a 300 000 km/s. La luz del Sol tarda 8 minutos en llegar a la Tierra. ¿a qué distancia está el Sol de la Tierra?
5. Un vehículo viaja del punto A al punto B a 32 km/h y tarda 16 segundos en recorrerlo, después recorre del punto B al punto C 856 metros en 8 segundos.
  - a) ¿cuanta distancia hay del punto A al punto B?
  - b) ¿qué velocidad tenía del punto B al punto C?

### 1.1.3 Movimiento Rectilíneo Uniforme Aceleración Constante

Concepto

#### ACELERACIÓN CONSTANTE



En física, todo movimiento uniformemente acelerado es aquel movimiento en el que la aceleración que experimenta un cuerpo, permanece constante (en magnitud y dirección) en el transcurso del tiempo.

Podemos modificar el estado de movimiento de un objeto cambiando su rapidez, su dirección de movimiento o ambas cosas. Cualquiera de estos cambios constituye un cambio de velocidad. En ocasiones nos interesa saber qué tan aprisa cambia la velocidad. Un conductor que quiere adelantar a otro auto en una carretera de dos carriles desearía ser capaz de aumentar su rapidez y adelantarlo en el menor tiempo posible. La razón de cambio de la velocidad se conoce como aceleración. Puesto que la aceleración es una razón de cambio, es una medida de cómo cambia la velocidad respecto al tiempo.

$$\text{aceleración} = \frac{\text{cambio de velocidad}}{\text{intervalo de tiempo}}$$

### ¿Sabías que?



En la vida real el movimiento con aceleración constante es casi inexistente (con excepción del movimiento en caída libre y en el plano inclinado), ya que por causa de la fricción, al sistema se le debe de aplicar continuamente fuerza para poder conservar el estado de movimiento.

Podemos modificar el estado de movimiento de un objeto cambiando su rapidez, su dirección de movimiento o ambas cosas. Cualquiera de estos cambios constituye un cambio de velocidad. En ocasiones nos interesa saber qué tan aprisa cambia la velocidad. Un conductor que quiere adelantar a otro auto en una carretera de dos carriles desearía ser capaz de aumentar su rapidez y adelantarlo en el menor tiempo posible. La razón de cambio de la velocidad se conoce como aceleración. Puesto que la aceleración es una razón de cambio, es una medida de cómo cambia la velocidad respecto al tiempo.

$$\text{aceleración} = \frac{\text{cambio de velocidad}}{\text{intervalo de tiempo}}$$

Todos conocemos bien los efectos de la aceleración en un automóvil. Si el conductor oprime el pedal que, adecuadamente, se llama acelerador los pasajeros experimentan entonces una aceleración y sienten una presión que los empuja hacia los asientos. La definición de la aceleración es el cambio. Siempre que cambiamos de estado de movimiento estamos acelerando. Un auto con una buena aceleración es capaz de cambiar su velocidad rápidamente. Un vehículo que puede pasar de cero a 60 km/h en 5 segundos tiene una aceleración mayor que otro que puede pasar de cero a 80 km/h en 10 segundos. Así pues, tener buena aceleración significa ser capaz de cambiar de velocidad en corto tiempo y no se refiere a qué tan rápido se mueve un objeto.

En física el término aceleración se aplica a los aumentos como a las disminuciones de rapidez. Los frenos de un auto pueden producir grandes aceleraciones retardantes, esto es, pueden producir un gran decremento por segundo de la rapidez. A esto se le suele llamar desaceleración o aceleración negativa. Experimentamos una desaceleración cuando el conductor de un autobús o un auto aplica los frenos de improviso y tendemos a inclinarnos hacia adelante.

El término aceleración se aplica tanto a cambios de rapidez como a cambios de dirección. Si recorres una curva con una rapidez constante de 50 km/h, sientes los efectos de la aceleración como una tendencia a inclinarte hacia el exterior de la curva.

Puedes recorrer la curva con rapidez constante, pero tu velocidad no es constante porque tu dirección cambia cada instante. Tu estado de movimiento cambia; es decir, estás acelerando. Ahora puedes ver por qué es importante distinguir entre rapidez y velocidad, y por qué la aceleración se define como una razón de cambio de velocidad, no de rapidez. La aceleración, como la velocidad, es direccional. Si modificamos la rapidez o la dirección, o ambas, cambiamos de velocidad y aceleramos.

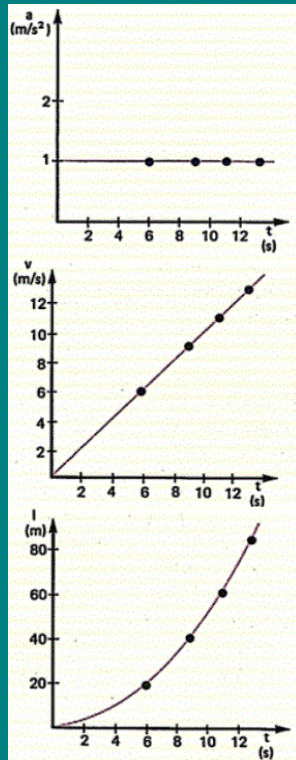
Cuando se estudia el movimiento en línea recta es común emplear las palabras rapidez y velocidad de manera indistinta. Cuando la dirección no cambia, la aceleración se puede expresar como la razón de cambio de la rapidez.

$$\text{aceleración (a lo largo de una línea recta)} = \frac{\text{cambio de rapidez}}{\text{intervalo de tiempo}}$$

La rapidez y la velocidad se miden en unidades de distancia por tiempo. Las unidades de aceleración son un poco más complicadas. Puesto que la aceleración es el cambio de velocidad o de rapidez por intervalo de tiempo, se expresa en unidades de velocidad entre tiempo.

Si aumentamos nuestra rapidez, sin cambiar de dirección, de cero a 10 km/h en 1 segundo, nuestro cambio de velocidad es de 10 km/h en un intervalo de tiempo de 1 segundo. Nuestra aceleración, a lo largo de una línea recta, es entonces:

Tres ejemplos de movimiento con aceleración constante se pueden observar en las siguientes gráficas.



$$\begin{aligned}
 \text{aceleración} &= \frac{\text{cambio de rapidez}}{\text{intervalo de tiempo}} \\
 &= \frac{10 \text{ kh/h}}{1 \text{ s}} \\
 &= 10 \frac{\text{km}}{\text{h*s}}
 \end{aligned}$$

La aceleración es de 10 km/h\*s (que se lee "10 kilómetros por hora-segundo"). Observa que la unidad de tiempo aparece dos veces: una vez por la unidad de rapidez y otra más por el intervalo de tiempo en el cual cambia la rapidez.

Lo anterior también se puede resumir con la expresión matemática:

$$a = \frac{v_f - v_o}{t_f - t_o}$$

donde:

$v_f$  = velocidad final

$v_o$  = velocidad inicial

$t_f$  = tiempo final

$t_o$  = tiempo inicial

Actividad

**CONTESTA Y EXPLICA**

- 1.** Un automóvil que se desplaza en línea recta aumenta de manera constante su rapidez cada segundo, primero de 35 a 40 km/h, después de 40 a 45 km/h y luego de 45 a 50 km/h. ¿Cuál es su aceleración?
- 2.** En 5 segundo un auto que avanza en línea recta aumenta su rapidez de 50 km/h a 65 mk/h, en tanto que un camión pasa del reposo a 15 km/h en línea recta.
  - a)** ¿cuál vehículo experimenta una aceleración mayor?
  - b)** ¿cuál es la aceleración de cada vehículo?
- 3.** ¿Cuál es la aceleración de un auto que se desplaza a lo largo de una trayectoria en línea recta y cuya rapidez aumenta de cero a 100 km/h en 10 segundos?
- 4.** ¿Cuál es la aceleración de un auto que viaja en línea recta con una rapidez constante de 100 km/h?
- 5.** El cuerpo humano puede sobrevivir a un suceso de trauma por aceleración negativa (alto repentino) si la magnitud es menor que  $250 \text{ m/s}^2$  (cerca de 25 g). Si usted sufre un accidente automovilístico con velocidad inicial de 88 km/h y es detenido por una bolsa de aire que se infla desde el tablero, ¿en qué distancia debe ser detenido para sobrevivir?

Concepto

FRICCIÓN ESTÁTICA Y DINÁMICA



La fricción estática es aquella que existe antes de lograr el movimiento, la fricción dinámica (o cinética) es la que existe cuando existe el movimiento.

La fricción es una fuerza como cualquier otra y afecta el movimiento. La fricción actúa sobre materiales que están en contacto unos con otros y siempre lo hacen en sentido opuesto al del movimiento. Cuando dos objetos sólidos entran en contacto, la fricción obedece a las irregularidades de ambas superficies. Cuando un objeto se desliza contra otro debe elevarse sobre las protuberancias irregulares o bien rasparlas. De cualquier manera, se requiere una fuerza.

La fuerza de fricción entre las superficies depende de la clase de los materiales que están en contacto y de la intensidad con que una comprime a la otra.

Por ejemplo, la fricción entre el caucho y el concreto es mayor que la fricción entre dos superficies de acero. Por esta razón los rieles usados para separar los dos sentidos de una carretera han sido remplazados por muros de concreto. La fricción que produce un neumático cuando roza contra el concreto es más eficaz para detener el auto que la fricción que genera su carrocería de acero al resbalar contra un riel de acero.

Observa que el muro de concreto es más ancho en la base para que, cuando el auto resbale de costado, el neumático haga contacto con la división antes que la carrocería.

Cuando hay fricción un objeto puede moverse con velocidad constante mientras se le aplica una fuerza externa. En este caso, la fuerza de fricción equilibra exactamente la fuerza aplicada. La fuerza resultante es cero, de modo que no hay aceleración.

TABLA DE COEFICIENTES DE FRICCIÓN		
FERMILAB		
Materiales en contacto	$u_k$	$u_s$
Articulaciones humanas	0.02	0.003
Acero // Hielo	0.03	0.02
Acero // Acero	0.15	0.09
Caucho // Cemento (húmedo)	0.3	0.25
Caucho // Cemento (seco)	0.98	0.86
Vidrio // Vidrio	0.9	0.4
Madera // Cuero	0.5	0.4
Vidrio // Madera	0.2	0.25

Matemáticamente la fricción se define como

$$f_k = n u_k$$

$$f_s = n u_s$$

para la fricción cinética y fricción estática respectivamente, y donde:

$n$  = fuerza normal a la superficie

$u_k$  = coeficiente de fricción cinética

$u_s$  = coeficiente de fricción estática

Los coeficientes de fricción (tanto estática como dinámica) se consiguen de tablas, donde fueron determinados experimentalmente en laboratorios. Para los ejercicios próximos, se utilizará la tabla mostrada anteriormente.

Actividad

**CONTESTA Y EXPLICA**

1. ¿Cuál es la causa de la fricción y en que dirección se ejerce ésta con respecto al movimiento de un objeto que se desliza?
2. Si la fuerza de fricción que se ejerce sobre una caja que se desliza es de 100 N
  - a) ¿cuánta fuerza se debe aplicar para mantener una velocidad constante?
  - b) ¿cuál es la fuerza resultante que se ejerce sobre la caja?
  - c) ¿cuál es la aceleración?
3. Si un camión cargado capaz de acelerar a  $1 \text{ m/s}^2$  pierde su carga y tiene tres cuartas partes de la masa original, ¿qué aceleración puede alcanzar por medio de la misma fuerza impulsora?
4. Se necesita una fuerza de 100 N para empujar una caja sobre el piso de una fábrica con rapidez constante.
  - a) ¿cuál es la fuerza resultante que se ejerce sobre la caja?
  - b) ¿cuál es la fuerza de fricción que actúa sobre la caja?

Cuando un objeto gira alrededor de un eje interno, esto es, un eje situado dentro del cuerpo del objeto, el movimiento se llama rotación, o giro. Un ejemplo, sería en movimiento de un carrusel o el de una patinadora.

Cuando un objeto gira alrededor de un eje externo, su movimiento se llama revolución. El juego mecánico efectúa una rotación, pero los ocupantes que están en el borde exterior de la plataforma efectúa una revolución en torno a su eje.

La Tierra experimenta ambos tipos de movimiento circular: efectúa una revolución alrededor del Sol cada  $265 + 1/4$  días, y una rotación cada 24 horas alrededor de un eje que pasa por sus polos geográficos.

## 1.3.1 Movimiento Circular Rapidez de Rotación

### Concepto

### RAPIDEZ RADIAL



La rapidez radial la podemos entender como la rapidez máxima con la que un automóvil puede tomar una curva sin que este derrape. La expresión matemática de la rapidez radial es:

$$v_{\text{máx}} = \sqrt{u_s g R}$$

donde

$u_s$  = coeficiente de fricción estática

$g$  = aceleración de la gravedad ( $9.81 \text{ m/s}^2$ )

$R$  = radio de curvatura de la "curva" por donde circula el automóvil

¿Cuáles caballos se mueven con más rapidez en un carrusel: los que están cerca del borde exterior o los que están cerca del centro? Análogamente, ¿qué parte de una tornamesa se mueve más aprisa: un surco de la parte exterior del disco o uno cercano al centro? Si haces estas preguntas a diferentes personas es probable que recibas respuestas distintas. Esto se debe a que algunas personas pensarán en la rapidez lineal y otras en la rapidez de rotación.

La rapidez lineal, a la que llamamos simplemente rapidez, es la distancia recorrida por unidad de tiempo. En una vuelta completa un punto situado en el borde exterior de un carrusel o de una tornamesa recorre una distancia mayor en un punto próximo al centro.

La rapidez lineal en el borde exterior de un objeto que gira es mayor que en la región cercana al eje. Se puede llamar rapidez tangencial a la rapidez de algo que se mueve en una trayectoria circular porque en la dirección del movimiento circular podemos emplear indistintamente los términos rapidez lineal y rapidez tangencial.

La rapidez de rotación (a veces llamada rapidez angular) es el número de rotaciones por unidad de tiempo. Todas las partes del carrusel y de la tornamesa, que son rígidos, giran alrededor de su eje en el mismo intervalo de tiempo. Así pues, todas las partes tienen la misma razón de cambio de rotación, o el mismo número de rotaciones o revoluciones por unidad de tiempo. Es común expresar la rapidez de rotación en revoluciones por minuto (RPM).

Hay una relación entre la rapidez lineal y la rapidez de rotación, cuanto más aprisa gira un objeto, mayor es su rapidez tangencial. La rapidez tangencial es directamente proporcional a la rapidez de rotación y a la distancia radial respecto al eje de rotación. Así pues, decimos que:

$$\text{rapidez tangencial} \sim \text{distancia radial} \times \text{rapidez de rotación}$$

En el centro de una plataforma giratoria, precisamente en su eje, la rapidez tangencial es cero, pero si tiene rapidez de rotación. Simplemente gira. A medida que nos alejamos del centro nos movemos cada vez más aprisa: la rapidez tangencial aumenta, pero la rapidez de rotación permanece constante. Si nos colocamos al doble de distancia del centro tendremos una rapidez tangencial dos veces mayor. Si nos situamos a una distancia tres veces mayor la rapidez tangencial también se triplicará. Cuando una hilera de patinadores sujetos de los brazos de la vuelta en la pista de patinaje, el movimiento del que está en la cola es prueba de que su rapidez es mayor.

En resumen: todos los puntos de un sistema rígido en rotación tienen la misma rapidez de rotación, pero la rapidez lineal o tangencial varía. La rapidez tangencial depende de la rapidez de rotación y de la distancia al eje de rotación.

1.3.2

## Movimiento Circular Fuerza Centrípeta



Todo movimiento circular requiere una fuerza de alguna especie. Cualquier fuerza que obligue a un objeto a seguir una trayectoria circular se llama fuerza centrípeta. Centrípeta significa “que busca el centro” o “dirigida hacia el centro”.

La fuerza centrípeta no es un nuevo tipo de fuerza; es simplemente el nombre que se da a toda fuerza dirigida en ángulo recto respecto a la trayectoria de un objeto en movimiento y que tiende a producir un movimiento circular.

Cuando un automóvil vira en una esquina, la fricción lateral entre los neumáticos y el pavimento suministra la fuerza centrípeta que mantiene al auto en una trayectoria curva. Si la fuerza de fricción no tiene la magnitud suficiente, el auto no puede virar y los neumáticos resbalan lateralmente: el auto patina.

Actividad

**CONTESTA Y EXPLICA**

1. Explica la diferencia entre los términos rotación y revolución.
2. Explica la diferencia entre rapidez lineal y rapidez de rotación.
3. ¿Cómo se llama a la rapidez lineal de un objeto que se mueve en un círculo?
4. A una distancia específica respecto al eje, ¿cómo cambia la rapidez lineal (o tangencial) a medida que se modifica la rapidez de rotación?
5. A una rapidez de rotación determinada, ¿cómo cambia la rapidez lineal (o tangencial) a medida que se modifica la distancia respecto al eje?
6. Cuando uno vira, ¿suministra los cinturones de seguridad una fuerza centrípeta o centrífuga a los ocupantes?
7. Sobre un auto en reposo en un cambio horizontal se ejercen dos fuerzas: su peso (hacia abajo) y la fuerza normal (hacia arriba). Recuerda que la fuerza normal es la fuerza de soporte, la cual es siempre perpendicular a la superficie de apoyo. Si el auto efectúa un viraje sobre un camino horizontal, la fuerza normal conserva su dirección hacia arriba. La fricción entre las ruedas y el camino es la única fuerza centrípeta que permite el movimiento curvilíneo. Supón que el camino tiene un peralte, de modo que la fuerza normal tiene una componente que proporciona una fuerza centrípeta. ¿Consideras que el vehículo podría virar sin fricción? Explica tu respuesta.

## CAPITULO 2

### ESTRUCTURA DEL MÉTODO DE VÍAS

Es muy común que, con los únicos datos del momento del percance, con los que cuenta el perito salgan de los testimonios de los testigos y de las partes oficiales. A partir de ahí, el perito en Hechos de Tránsito debe de aplicar técnicas de ingeniería inversa para poder reconstruir la línea de tiempo (al menos de segundos antes) del percance.

Entre los datos que se pueden considerar de mucho valor para poder determinar responsabilidades después de un percance vial está el de la rapidez de impacto (o rapidez final), así como la distancia que recorrió antes del impacto. Para lograr esto se pueden utilizar métodos de energía y deformaciones, los cuales requieren de un conocimiento profundo de dinámica y cinemática para poder interpretar correctamente los resultados, así como de resistencia de materiales. Como una alternativa a estos métodos y como una primera aproximación a las máximas velocidades posibles antes del percance se propone el método de vías.

El método de vías analiza la velocidad máxima posible que alcanza un vehículo (considerando características del modelo y motor del vehículo) y tiene la intención de establecer “un mapeo” de las máximas velocidades posibles con respecto a la morfología de las vialidades y la dirección del movimiento. Sin embargo, debemos de tener presente que para utilizar este método debemos de construir un panorama idealizado donde el vehículo se mueve con aceleración constante y dentro del cual caerá nuestro “caso real” si la distancia que se analiza es pequeña.

La fundamentación del Método de Vías se basa en el análisis de la cantidad de carriles posibles por los que puede circular un vehículo y la velocidad máxima a la que se puede tomar una curva desde la óptica de cada carril. Por ejemplo, en una vialidad de dos sentidos un automóvil puede circular por cualquiera de los dos carriles, sin embargo, una motocicleta puede circular por esos dos carriles y por la zona central dando así tres posibles carriles de circulación. Ya que existen leyes físicas estrictas para ingresar a una curva, podemos determinar la velocidad de salida y así crear un mapa de velocidades a partir de esta velocidad de salida como referencia inicial, y considerando que el vehículo tiene una aceleración constante para determinar la velocidad final en un punto cercano a la curva.

## 2.1 Estructura del Método de Vías Rapidez Final

Ya que estamos considerando que los vehículos se mueven con aceleración constante, deduciremos las ecuaciones generales del movimiento para este caso.

La aceleración en física está definida como el cambio de la velocidad que tiene un vehículo en determinado tiempo (como se señalo en el capítulo anterior), lo que matemáticamente se puede escribir como:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

donde  $\Delta v = v_f - v_i$

siendo:

$\Delta a$  = aceleración

$\Delta v$  = cambio de velocidad

t = intervalo de tiempo

$v_f$  = rapidez final

$v_i$  = rapidez inicial

Esta ecuación la podemos reescribir expandiendo sus términos, quedando

$$a = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i}$$

De esta ecuación el término  $v_i$  representa la rapidez inicial del vehículo, lo que a futuro llamaremos  $v_0$ .  $v_f$  es la rapidez final (que por lo general es la que nos interesa determinar en un peritaje), y a futuro la llamaremos simplemente  $v$ .

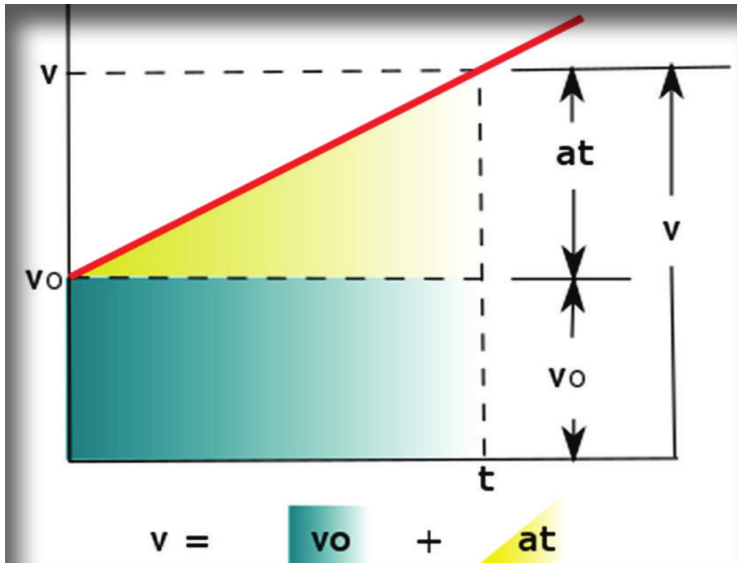
$t_f$  es el tiempo final al que llamaremos en adelante solo  $t$  y  $t_i$  lo consideramos como 0 (esto porque siempre vamos a considerar que nuestro movimiento comienza en un tiempo 0 y termina de manera indistinta en un tiempo  $t$ , solo por comodidad). Lo que deja la ecuación anterior como:

$$a = \frac{v - v_0}{t}$$

Si queremos obtener una fórmula para determinar la rapidez final de un vehículo que se mueve con aceleración constante solo debemos despejar  $v$  de la ecuación anterior, lo que da:

$$v = v_0 + at$$

Lo anterior se puede ver de forma más clara en la figura siguiente:



En la figura se puede observar el movimiento de un vehículo en un tiempo corto. En este caso el vehículo tiene una rapidez inicial  $v_0$  diferente de cero, lo que significa que se está analizando su movimiento cuando él ya se está moviendo. El área de color verde corresponde a su rapidez inicial con respecto al tiempo y el área de color amarillo corresponde al cambio de su rapidez de forma constante (por eso la línea roja es una recta. Si su aceleración no es constante sería una curva). La rapidez final es la suma de la rapidez inicial más el cambio de rapidez en el tiempo.

2.2

## Estructura del Método de Vías

### Distancia Final

Para determinar la distancia final (o en su caso el intervalo de distancia) que el vehículo recorrió vale la pena repasar el concepto de rapidez media.

Realmente cuando analizamos el movimiento de un vehículo por lo general estamos trabajando con promedios de rapidez y distancia (salvo que utilicemos herramientas de cálculo diferencial e integral). Eso significa que por lo general analizamos varios puntos del recorrido formando intervalos y calculamos la rapidez entre cada intervalo, considerando que la rapidez entre cualquier punto adentro de este intervalo es igual. Entre más pequeño sea el intervalo más exactitud obtendremos en nuestros cálculos.

Una forma para obtener la rapidez media entre dos puntos la podemos encontrar con la formula

$$V_{\text{med}} = \frac{x - x_0}{t}$$

donde

$v_{\text{med}}$  = rapidez media entre dos puntos

$x$  = distancia final (en un recorrido en el eje  $x$ )

$x_0$  = distancia inicial (en un recorrido en el eje  $x$ )

$t$  = tiempo total del recorrido

Esta fórmula nos dice que si consideramos el intervalo de distancia que corrió el vehículo entre el tiempo que le tomo recorrer dicha distancia obtendremos la rapidez entre esos dos puntos (una rapidez promedio).

Otra forma de obtener el promedio de velocidades es utilizar técnicas estadísticas, y estas se basan en el hecho de que el promedio de rapidez entre dos puntos es la suma de las dos velocidades divididas entre dos:

$$V_{\text{med}} = \frac{V - V_0}{2}$$

Ya que ambas expresiones hablan de velocidades medias, se pueden igualar, dando:

$$\frac{x - x_0}{t} = \frac{V - V_0}{2}$$

En la expresión anterior se puede observar que si despejamos para  $x$  obtendríamos una fórmula que nos permitiría saber la distancia final, sin embargo, tenemos el problema de la presencia de la rapidez final en la misma fórmula. Ya que no es correcto tener una ecuación con dos incógnitas (suponiendo que todavía no sabemos la rapidez final ni la distancia final).

Nos conviene sustituir la rapidez final en esta expresión por la primera que se obtuvo de la rapidez final obtenida en la sección anterior, y así dejar todo en términos de la rapidez inicial, dando:

$$\frac{x - x_0}{t} = \frac{v_0 + (v_0 + at)}{2}$$

Sumando la rapidez inicial queda

$$\frac{x - x_0}{t} = \frac{2v_0 + at}{2}$$

Ahora despejamos el tiempo del lado izquierdo hacia el derecho, dando

$$x - x_0 = \frac{2tv_0 + at^2}{2}$$

Despejando la distancia inicial y simplificando la fracción, finalmente queda:

$$x = x_0 + v_0t + \frac{1}{2}at^2$$

Hasta ahora hemos deducido dos expresiones importantes: una para determinar la velocidad final de un vehículo cuando la aceleración es constante y otra que sirve para determinar la distancia final cuando la aceleración es constante, sin embargo, ambas expresiones son dependientes del tiempo, eso significa que el perito debe de saber cuánto tiempo paso desde que el vehículo se encontraba en un punto y paso a otro para poder aplicarlas.

En la práctica no es muy común que se cuenten con datos temporales, por ese motivo es importante que determinemos una expresión para la velocidad final que sea independiente del tiempo. Para esto tomaremos la última expresión obtenida pero analizando toda la distancia recorrida y no solo el punto final, esto es

$$x - x_0 = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

Aquí se puede observar que al lado derecho de la ecuación quedan los términos temporales.

Para poder eliminar estos términos debemos encontrar una expresión para el tiempo en términos de la aceleración constante, esto se logra despejando el tiempo de la expresión para la aceleración, quedando:

$$t = \frac{v - v_0}{a}$$

Sustituimos este término en la ecuación anterior quedando:

$$x - x_0 = v_0 \left( \frac{v - v_0}{a} \right) + \frac{1}{2} a \left( \frac{v - v_0}{a} \right)^2$$

Lo que nos da una ecuación sin la presencia del tiempo. Para extraer una fórmula más amigable de la rapidez final de esta expresión la debemos de simplificar desarrollando el término al cuadrado y multiplicando la expresión por  $2a$ , con lo que queda finalmente:

$$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$$

Lo que ya representa una expresión para la rapidez final independiente del tiempo.

## 2.4 Estructura del Método de Vías Movimiento en un círculo

Anteriormente deducimos una serie de ecuaciones que describen el movimiento de un vehículo cuando su aceleración es constante, sin embargo, esas ecuaciones sirven cuando el vehículo se mueve en línea recta.

En el caso de que el vehículo esté involucrado en movimiento circular, esas ecuaciones pierden valor y nos obliga a deducir otras expresiones adecuadas para estos casos.

Iniciaremos deduciendo la ecuación para la aceleración radial en el caso de curvas sin peralte.

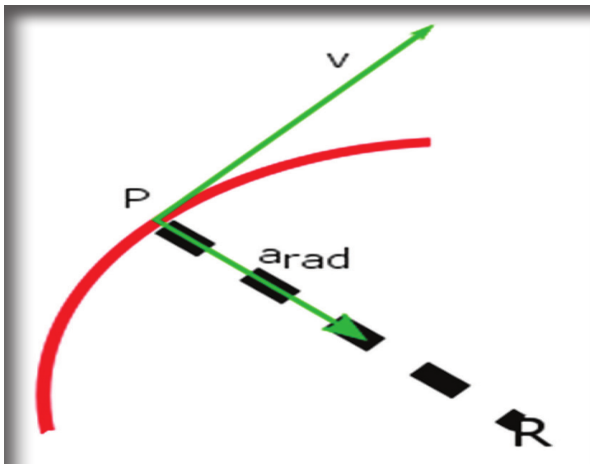


### 2.4.1 Movimiento en un círculo Aceleración Radial

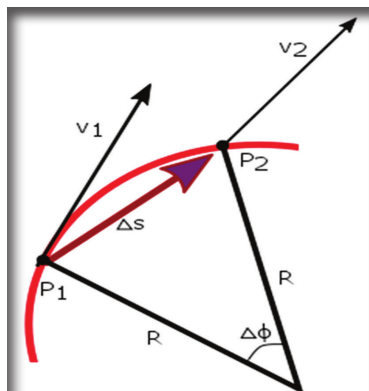
Cuando un vehículo se mueve en un círculo con rapidez constante, tiene un movimiento circular uniforme. En este caso, no hay componente de la aceleración paralela (tangente) a la trayectoria; si la hubiera, la rapidez cambiaría.

La componente perpendicular (normal) a la trayectoria, que causa el cambio de dirección de la rapidez tiene una relación sencilla con la rapidez del vehículo y el radio del círculo.

En el movimiento circular uniforme la aceleración siempre es perpendicular a la velocidad; al cambiar la dirección de ésta, cambia la de la aceleración. El vector aceleración en cada punto de la trayectoria apunta al centro del círculo.



Para analizar la aceleración radial vamos a analizar el comportamiento de la velocidad en dos puntos diferentes de la misma trayectoria.

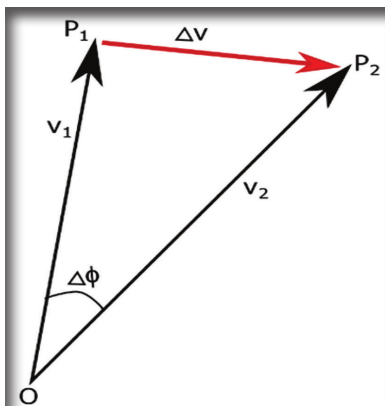


En el diagrama anterior se puede observar el vector velocidad  $v_1$ , en el punto  $P_1$  y el vector velocidad  $v_2$ , en el punto  $P_2$ .

También se puede observar que estos vectores velocidad están fuertemente ligados al radio del círculo que marca la trayectoria de vehículo.

Si nosotros tomamos la distancia entre  $P_1$  y  $P_2$  muy pequeña, entonces el segmento de arco del círculo se puede igualar a una línea recta, lo que la distancia entre  $P_1$  y  $P_2$  sería igual al  $\Delta s$ .

Y en términos vectoriales ese  $\Delta s$  sería igual a un  $\Delta v$  si sumamos los vectores velocidad, como se puede observar en la siguiente figura:



Esta observación nos permite asegurar que geoméricamente es correcto establecer que:

$$\frac{|\Delta v|}{v_1} = \frac{\Delta s}{R}$$

O bien

$$|\Delta v| = \frac{v_1 \Delta s}{R}$$

Si dividimos el termino  $\Delta v$  entre el tiempo, para así obtener datos de aceleración, tendríamos que:

$$a_{\text{rad}} = \frac{|\Delta v|}{t} = \frac{v_1}{R} \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Ya que el termino  $\Delta s/\Delta t$  nos habla del cambio de distancia en un determinado tiempo y eso lo conocemos como velocidad, ya que solo tenemos una velocidad en las ecuaciones no tiene caso diferenciarla como  $v_1$ , sino simplemente como  $v$ , lo que nos da:

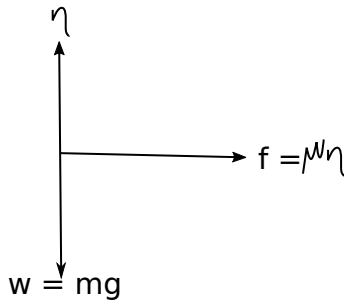
$$a_{\text{rad}} = \frac{v^2}{R}$$

Que es la expresión para la aceleración de un vehículo que tiene una trayectoria circular.

### 2.4.2 Rapidez máxima a la que se puede recorrer una trayectoria circular

Finalmente terminaremos esta sección deduciendo formalmente la ecuación que describe la rapidez máxima con la que un vehículo puede realizar una trayectoria circular sin derrapar (caso de curva sin peralte).

El diagrama de cuerpo libre de un vehículo que recorre una curva tendría la siguiente distribución de fuerzas:



En este diagrama de cuerpo libre se puede observar que hay un equilibrio de fuerza entre el peso (hacia abajo) y la fuerza normal (hacia arriba) como normalmente pasa, sin embargo, solo la fuerza de fricción impide que el vehículo derrape y esta se presenta como una fuerza en dirección de la aceleración radial (hacia el centro del círculo).

Analizando las componentes de las tres fuerzas que aparecen en este diagrama tenemos que:

F	$\theta$	$F_x$	$F_y$
w	$270^\circ$	$w\cos 270 = 0$	$w\sin 270 = -w$
$\eta$	$90^\circ$	$\eta\cos 90 = 0$	$\eta\sin 90 = \eta$
f	$0^\circ$	$f\cos 0 = f$	$f\sin 0 = 0$

De la tabla anterior se puede observar que la sumatoria de fuerzas en el eje x es:

$$\sum F_x = f$$

y que la sumatoria de fuerzas en el eje y es:

$$\sum F_y = \eta - w = 0$$

con lo que se deduce que:

$$\eta = w$$

Se sabe por la segunda Ley de Newton que:

$$\Sigma F = ma$$

pero ya que la trayectoria es circular se reemplaza la aceleración lineal por la aceleración radial (obtenida anteriormente), dando:

$$\Sigma F_x = f = mv^2/R$$

La máxima rapidez se va a lograr en el momento de que la fricción sea la máxima fuerza imperante en el sistema, en otras palabras,  $v_{\text{máx}}$  existe cuando:

$$f_{\text{máx}} = \mu_S \eta = \eta mg$$

Si igualamos esta fuerza de fricción máxima con la equilibrada con la segunda Ley de Newton se tendría:

$$\mu_S mg = m \frac{v_{\text{máx}}^2}{R}$$

Despejando de esta ecuación la rapidez máxima, finalmente se obtiene que:

$$v_{\text{máx}} = \sqrt{\mu_S g R}$$

En esta fórmula aparece el coeficiente de fricción estática ( $\mu_S$ ), y no el cinético ya que la fricción debe estar en equilibrio con el movimiento para no derrapar, eso significa que necesitamos los parámetros de la fricción antes de que exista movimiento contrario a esta fuerza de fricción (derrape).

# CAPITULO 3

## APLICACIONES

Ya visto cuales son los principios físicos que sustentan al Método de Vías y con intenciones de ejemplificar su uso analizamos y resolvemos el siguiente caso:

Una motocicleta SUZUKI AX100, transitaba por la Av. Olímpica (del municipio de guadalajara) y 100 m después de dar vuelta hacia Boulevard Marcelino García Barragán en dirección

colisiona con un automóvil que se encontraba estacionado sobre esta avenida.

a) ¿Cuál es la velocidad máxima con la que puede colisionar la motocicleta?

**IMPORTANTE**

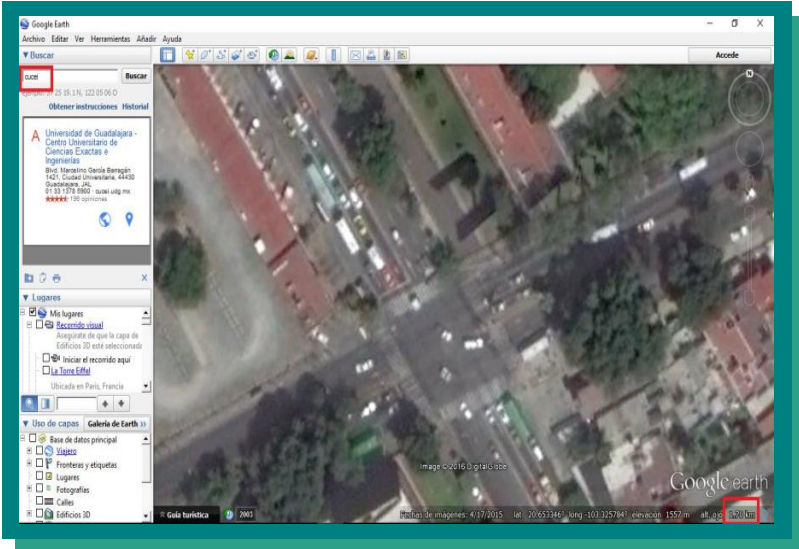


No olvides instalar Google-Earth  
<https://earth.google.es/>



## 3.1 Aplicaciones

### Ubicar el Lugar del Hecho



Para ubicar el lugar del hecho, iniciamos google-earth y en su buscador escribimos "CUCEI", ya que es una buena referencia para el cruce mencionado.

Ya teniendo el lugar ubicado en lo general, damos zoom hasta que estemos a una altura en vista de pájaro de 1.7 km.

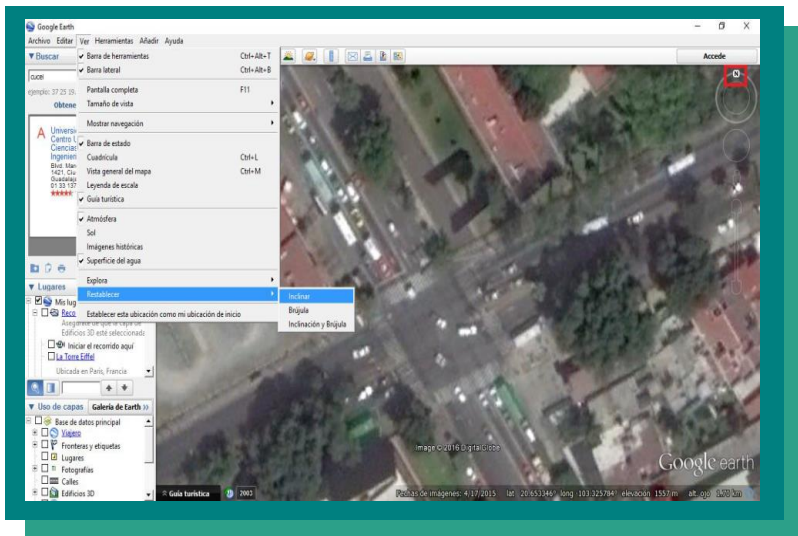
### 3.1 Aplicaciones Ubicar el Lugar del Hecho

Es común que al acercarnos a un punto de interés la imagen comience a rotar, lo que meterá un error de corrección geométrica que resulta muy difícil de corregir si no se prevé este problema.

Para evitar esta rotación seguimos la siguiente ruta:

**Ver >> Restablecer >> Inclinar**

También es importante recordar orientar la imagen hacia el norte.



### 3.2 Aplicaciones Identificación de Vías de Circulación

Una parte muy importante del método es la correcta clasificación de las vías de circulación, la cual varía con el tipo de automotor con el que se esté trabajando.

Por ejemplo, si se trata de un automóvil, camioneta, camión, etc., que circulan en una avenida con tres carriles, consideramos a cada carril como una vía de circulación, pero si una motocicleta es la que circula sobre esta misma avenida, las vías de circulación suben a cinco posibles (las tres vías principales y sobre la línea que divide a cada carril)

#### Clasificación de Vías

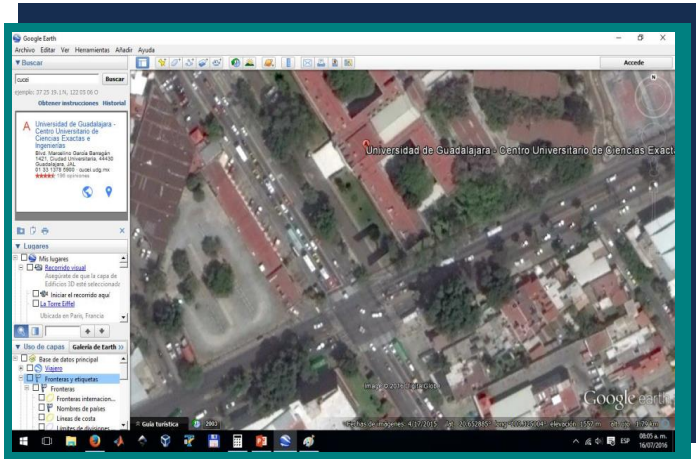


En la figura se observa una avenida con tres carriles de circulación para automóviles (líneas rojas) y cinco carriles para motocicletas (líneas amarillas)

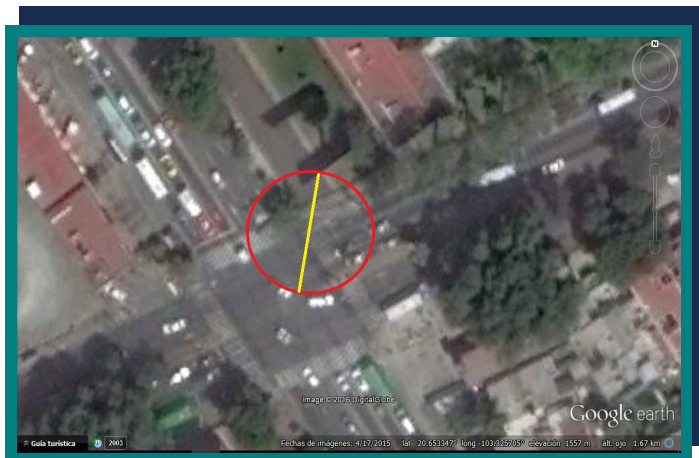


Vista de la Av. Olímpica donde se pueden observar tres vías de circulación para autos y cinco vías para motocicletas. Pero para fines de ejercicio solo se realizará el cálculo para tres vías

En la figura en vista de pájaro se puede observar que las avenidas por la que venía circulando la motocicleta antes y después del accidente tiene tres carriles de circulación para automóviles.



### 3.3 Aplicaciones Determinación de radios de giro



Sabemos que la motocicleta iba viajando sobre Av. Olímpica y viro hacia la Av. Boulevard Marcelino García Barragán. Ese giro es importante, ya que de ahí vamos a sacar la información sobre la velocidad inicial con la que inicia en la vía recta sobre Av. Boulevard Marcelino García Barragán.



Antes de seguir avanzando es importante recordar que el Método de Vías no determina la velocidad real al momento de la colisión, sino la velocidad máxima que pudo tener el automóvil antes de la colisión, considerando las características de su motor.

Otra característica importante de la curva, es que la física dicta que todo móvil que tome una trayectoria curva solo lo puede hacer a una velocidad máxima fácilmente determinable, ya que si lo hace a una velocidad superior el móvil va a derrapar (lo que no fue el caso).

Ya que vamos a determinar la velocidad máxima con la que la moto pudo haber tomado esta curva, esta velocidad será la velocidad inicial con que la motocicleta iniciara a recorrer sobre una vía recta, y a partir de ahí y con respecto a las características del motor de la motocicleta podremos determinar la velocidad máxima que la motocicleta pudo lograr antes de la colisión.

El radio de curvatura se logra siguiendo la trayectoria de los vehículo en la imagen y utilizando la herramienta radios que proporciona la versión plus de google-earth. En caso de no tener instalada la versión plus, se pueden determinar los radios con la herramienta de polígonos, y ya teniendo los círculos se calcula el radio de ellos con la herramienta de medición.

En este ejercicio los radios de giro quedan como :

$R_{c1} = 11.24$  m, círculo rojo

$R_{c2} = 12.96$  m, círculo amarillo

$R_{c3} = 14.79$  m, círculo verde



Es importante que en un caso real estos radios de curvatura se midan directamente en campo.

En este paso conviene recordar que la expresión matemática para calcular la máxima velocidad con la que un auto puede tomar una curva es

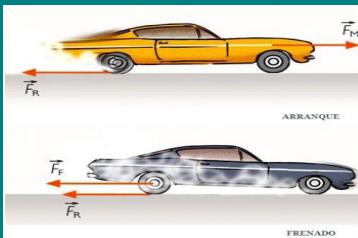
$$v_{\text{máx}} = \sqrt{\mu_S g R}$$

Ya que son tres vías, tenemos que repetir el cálculo para cada radio de curvatura.

$$v_1 = \sqrt{\mu_S g R} = \sqrt{(0.8)(9.81)(11.24)} = 9.39 \text{ m/s}$$

$$v_2 = \sqrt{\mu_S g R} = \sqrt{(0.8)(9.81)(12.96)} = 10.09 \text{ m/s}$$

$$v_3 = \sqrt{\mu_S g R} = \sqrt{(0.8)(9.81)(14.79)} = 10.77 \text{ m/s}$$



Te has preguntado ¿por qué si la motocicleta esta en movimiento estamos utilizando el coeficiente de fricción estática y no el dinámico?

Eso se debe al hecho de que estamos analizando la fricción que hace que la motocicleta no derrape al momento de tomar la curva, lo que corresponde a la estática. En este caso la fricción dinámica es la que hace que la motocicleta se mueva gracias a la fricción entre la llanta y la cinta asfáltica a lo largo de la curva.

El coeficiente de fricción estática que utilizamos es el que corresponde a una calzada seca y llantas en buen estado, la que es de 0.8.

Ya sabemos hasta el momento la velocidad máxima que pudo aplicar la motocicleta para tomar cada curva. Ya que el radio de curvatura es muy pequeño, podemos considerar que la velocidad fue constante en todo momento que estuvo dentro de la curva, lo que significa que al salir de la curva su velocidad es la misma que tenía dentro de la curva, lo que nos da la velocidad inicial en el tramo recto.

La velocidad en línea recta la calculamos con la expresión

$$v = \sqrt{v_0^2 + 2a(x - x_0)}$$

Con lo que vamos a hacer un breve recuento de los datos que tenemos y lo que implica esta expresión.

El término  $v_0^2$  corresponde a la velocidad inicial con la que la motocicleta tomó la vía recta, que como ya vimos corresponde a la velocidad máxima que tiene a la salida de la trayectoria curva.

$x - x_0$  corresponde a la distancia desde que la motocicleta sale de la curva hasta que colisiona, que en nuestro caso es de 100 m.

La aceleración  $a$  corresponde a la aceleración que puede lograr ese tipo específico de motocicleta. Este dato lo conseguimos en la ficha técnica de la motocicleta.



"La Reina del Trabajo"

La AX100 es sumamente confiable, muy robusta y sobre todo muy económica. Es la motocicleta de Suzuki que mejor se adapta a los nuevos proyectos y que es ideal para los pequeños negocios.

**Características**

- 100 cc, 2 tiempos
- Económica
- Confiable
- Ideal para nuevos negocios

**Ficha técnica AX100**

**Motor**

Tipo de motor - 2 tiempos enfriado por aire  
Número de cilindros - 1 cilindro  
Diámetro - 50 mm  
Carrera - 50 mm  
Desplazamiento - 98 cm<sup>3</sup>  
Relación de compresión - 6.0 : 1  
Sistema de combustible - Carburador  
MIKUNI VM20SS  
Sistema de arranque - Pedal  
Sistema de lubricación - SUZUKI CCI

**Dimensiones y peso**

Largo total - 1885 mm  
Ancho total - 725 mm  
Alto total - 1050 mm  
Distancia entre ejes - 1215 mm  
Distancia al piso - 140 mm  
Altura del asiento - 780 mm  
Peso seco\*\*\* - 86 kg

Peso neto\*\* - 94 kg

**Transmisión**

Embrague - Disco múltiple húmedo  
Transmisión - 4 velocidades  
Patrón de cambios - 4, hacia abajo  
Transmisión final - Cadena 428D, 112 ESLABONES

**Chasis, capacidades y otros**

Suspensión delantera - Telescópica hidráulica con resorte  
Suspensión trasera - Basculante doble amortiguador  
ajustable de 5 posiciones  
Freno delantero - Tambor  
Freno trasero - Tambor  
Llanta delantera - 2.50 R18  
Llanta trasera - 2.75 R18  
Rin delantero - De rayos



Rin trasero - De rayos  
**Electrico**

Tipo de encendido - SUZUKI "PEI"

**Capacidades**

Tanque de gasolina incluida  
reserva - 12 Lts  
Reserva - 2 Lts  
Potencia - 10 HP / 7500 rpm  
Torque - 0.97 Kg-m / 6500 rpm  
Consumos\* - 32 Km / Lt

Las fichas en ocasiones traen el dato de la aceleración que puede lograr un móvil (por lo general contemplados en el intervalo de 0 a 100 m).

En caso de que la ficha no contenga ese dato lo debemos calcular a partir de la potencia. Para eso utilizamos la siguiente expresión:

$$a = \frac{P}{mv}$$

donde

P = potencia del motor

m = masa de la motocicleta (más masa de pasajeros)

v = velocidad máxima que se puede lograr con este tipo de vehículos



La velocidad máxima de la motocicleta se consigue de fichas técnicas, que en este caso corresponde a 80 km/h (22.22 m/s)

## CONVERSIÓN DE POTENCIA



Se puede convertir de caballos de fuerza (HP) a unidades del SI  $\text{kgm}^2/\text{s}^3$ , con la siguiente relación:

$$1 \text{ HP} = 775 \text{ kgm}^2/\text{s}^3$$

Para finalizar, la masa de la motocicleta también se incluye en las fichas técnicas (que en este caso es de 96 kg) y la masa del chofer la vamos a establecer solo para fines de este ejercicio en 76 kg, por lo que la masa total es de

$$m = \text{masa moto} + \text{masa pasajero} = 96 + 76 = 172 \text{ kg}$$

Para calcular la aceleración utilizamos la expresión:

$$a = \frac{P}{mv} = \frac{7750}{(172)(22.22)} = 2 \text{ m/s}^2$$

Ahora sí, ya teniendo todos los datos necesarios continuamos con el cálculo de la velocidad máxima posible que pudo tener la motocicleta antes de la colisión y considerando cada uno de las vías de circulación.

$$v_1 = \sqrt{v_0^2 + 2a(x - x_0)} = \sqrt{9.39^2 + 2(2)(100)}$$
$$v_1 = 22.09 \text{ m/s}$$

$$v_2 = \sqrt{v_0^2 + 2a(x - x_0)} = \sqrt{10.09^2 + 2(2)(100)}$$
$$v_2 = 22.4 \text{ m/s}$$

$$v_3 = \sqrt{v_0^2 + 2a(x - x_0)} = \sqrt{10.77^2 + 2(2)(100)}$$
$$v_3 = 22.71 \text{ m/s}$$

Si los valores anteriores parecen muy pequeños es porque están en m/s. Es mejor convertirlos a km/h para poder dimensionar la rapidez de circulación con respecto a nuestra experiencia diaria.

$$v_1 = 79.5 \text{ km/h}$$

$$v_2 = 80.64 \text{ km/h}$$

$$v_3 = 81.76 \text{ km/h}$$

Actividad

**RESUELVE**

1. Supongamos ahora que, en vez de virar hacia el NE, vira hacia el NO sobre Boulevard Marcelino García Barragán y colisiona de la misma forma a 100 m de distancia. ¿Cuál es la rapidez máxima en esta ocasión que puede tener la motocicleta?

**APLICA EL MÉTODO DE VÍAS A ESTE ASUNTO**

2. INSPECCIÓN OCULAR DEL LUGAR DE LOS HECHOS Y DE UN CUERPO SIN VIDA.- En Ciudad Guzmán Municipio de Zapotlán el Grande, Jalisco, siendo las 16:20 del día 26 de abril del año 2011, la MP, quien actúa juntamente con sus testigos de Asistencia, mismos que dan fe, procedimos a trasladarlos a la calle Henry Dunant, de la colonia Cruz Roja, de esta ciudad, en donde estando física y legalmente constituido, doy fe de que en dicho lugar se encuentra personal de seguridad pública municipal de esta ciudad a cargo del Sargento, mismo que se encuentra la ambulancia de la Cruz Roja, con número económico Jal-106, a cargo del paramédico, de igual manera se encuentra presente el Agente de Transito municipal, a cargo de la unidad z065, mismo que nos hace el conocimiento que el día de hoy siendo aproximadamente las 15:50, le reportaron que en

Actividad

## CONTINUACIÓN

la calle Henry Dunant de la colonia Cruz Roja de esta ciudad, habían atropellado a una persona, y que al arribar a dicho lugar, vio que se encontraba personal de seguridad pública, así como de la Cruz Roja y que estos últimos estaban atendiendo a una persona del sexo masculino, la cual se encontraba bajo el camión repartidor de cervezas, y a un lado de la persona lesionada, se encontraba una motocicleta de color rojo, marca Italika, que es en la que al parecer viajaba la persona. Los elementos de la Cruz Roja, le informaron que ya había fallecido, así mismo me informa que el conductor del camión repartidor de cervezas que participo en los presentes hechos, se encuentra asegurado y posteriormente será puesto a disposición de esta autoridad, continuando con la presente diligencia, y estando físicamente constituido frente a la finca marcada con el número 5 de la calle en que se actúa, doy fe de que la misma es de aproximadamente 7.5 metros de ancha, con su piso de empedrado, la misma es de 2 carriles de circulación, siendo de oriente a poniente y viceversa, además de que hacia el viento sur de dicha calle existen vehículos estacionados, continuando con la presente, doy fe de que sobre el piso de la calle, en la parte central

## Actividad

## CONTINUACIÓN

a una distancia aproximada de 2.8 metros, de la banqueta del lado sur, y de 3.4 metros de la banqueta del lado norte, se encuentra tirada una motocicleta de color rojo, marca Italika, la cual porta la placa de circulación 93jdh del Estado de Jalisco, la cual esta recostada sobre su costado derecho, y con su llanta delantera apuntando hacia el viento sur, de igual manera sobre dicha motocicleta se encuentra un casco de protección en color negro, continuando con la presente diligencia, doy fe de que hacia el viento poniente, a una distancia aproximada de 80 centímetros, de forma semi transversal de la calle en que se actúa, con su frente apuntando hacia el viento poniente, se encuentra sobre sus 4 llantas un camión de color rojo con leyendas de cerveza Victoria, donde la punta delantera del lado derecho de dicho camión se encuentra a una distancia aproximada de 4.9 metros partiendo de la banqueta del lado norte, el ángulo posterior derecho, se encuentra a una distancia aproximada de 1.3 metros de distancia de la banqueta del lado sur, y el ángulo posterior izquierdo del citado camión, se encuentra a una distancia aproximada de 3.7 metros partiendo de la banqueta del lado sur de la calle, continuando con la presente

Actividad

**CONTINUACIÓN**

diligencia, doy fe de que abajo del ángulo trasero izquierdo de dicho camión, se encuentra un cuerpo sin vida de una persona del sexo masculino, de aproximadamente 20 años de edad, en posición decúbito dorsal, con su cabeza apuntando hacia el sur poniente y el resto en sentido contrario, la cual es de aproximadamente 1.7 metros de longitud, de complexión regular, tez morena clara, pelo negro, ceja regular, nariz afilada, boca regular, labios regulares, el cual se encuentra en sus piernas extendidas, el brazo derecho igualmente extendido, y su brazo izquierdo se encuentra flexionado a la altura de la cintura, dicho cadáver viste camisa de color negro a rayas de color blanco, además de pantalón de mezclilla en color azul, y calzada tenis de color negro, presenta excoriación en el cuello lado izquierdo, así como en la mejilla del lado izquierdo, la oreja del lado izquierdo presenta salida de líquido hemático, así como de la boca y la nariz, dando fe de que bajo la cabeza se encuentra un pequeño lago hemático, con restos de lo que parece ser masa encefálica, continuando con la presente diligencia y con la finalidad de lograr la identificación ... ]

$$f_x \Delta x + f_y \Delta y$$

$$f_x \Delta x$$

En este trabajo se propone un método para inferir la rapidez máxima que puede tener un vehículo tomando como referencia un movimiento previo en trayectoria circular, esto para poder establecer con una mayor precisión física y mejor apego al método científico los valores frontera máxima, los cuales se utilizaran a futuro como cota máxima a la hora de realizar el cálculo de la rapidez de un vehículo con cualquier técnica criminalística materia de hechos de tránsito terrestre.

