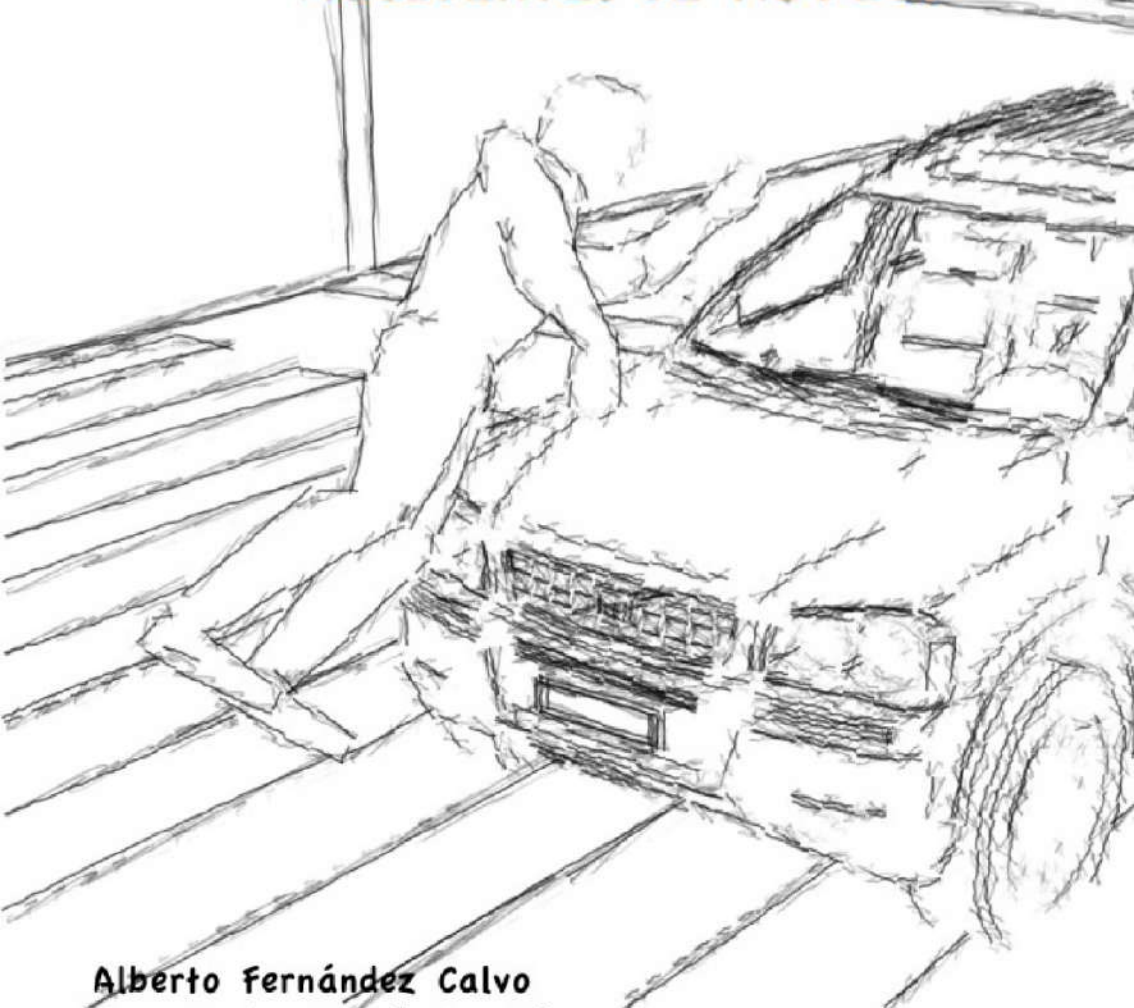
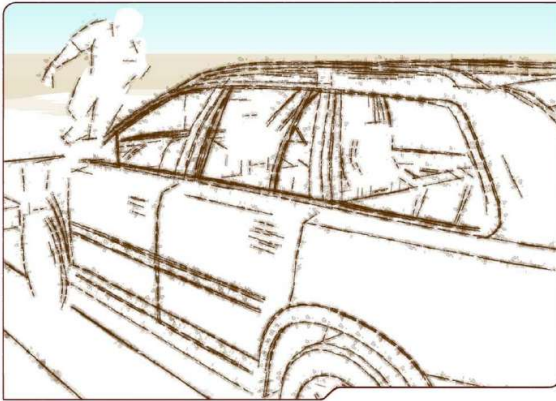


INTRODUCCIÓN A LA FÍSICA APLICADA A LA INVESTIGACIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁFICO



Alberto Fernández Calvo
Fco. Javier Fernández Gómez

INTRODUCCIÓN A LA FÍSICA APLICADA A LA INVESTIGACIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁFICO



... dedicado a los que creen que deben seguir aprendiendo y siguen...

Alberto Fernández Calvo

Ingeniero de Telecomunicaciones

y

Francisco Javier Fernández Gómez

Licenciado en Criminología y Subinspector de Policía Local

Todos los derechos reservados. Esta publicación o cualquiera de sus partes no podrá ser reproducida o transmitida por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, sea mecánico, fotoquímico, electrónico, magnético, electroóptico, mediante fotocopias o cualquier otro sin permiso previo por escrito del autor o editor.



Diseño y maquetación: Fran Gómez

Sevilla, 2012

Índice General

CONCEPTOS GENERALES 7

1. INTRODUCCIÓN. 7

1.1. La Física. Principales Teorías de la Física. 7

1.2. Definición de magnitud física. 8

2. CINEMÁTICA..... 10

2.1. Definición y conceptos básicos.....10

2.2. Nociones básicas de cálculo vectorial..... 11

2.3. Tipos de movimientos.....13

3. DINÁMICA..... 15

3.1. Conceptos de Fuerza y Trabajo.....15

3.2. Leyes de Newton.15

3.3. Fuerza de rozamiento.16

3.4. Principio de Conservación de la Cantidad de Movimiento..... 20

3.5. Concepto de Energía.21

3.6. Fuerza centrípeta..... 22

4. ESTUDIO DE COLISIONES.24

4.1. Esquema deductivo..... 24

5. ANÁLISIS DE ATROPELLOS A CICLISTAS Y PEATONES.26

5.1. Tipología de los atropellos. 26

5.2. Principios físicos y mecánicos utilizados en la reconstrucción analítica..... 27

PROBLEMAS-EJEMPLO	30
EJEMPLO 1 : Frenada sin colisión	31
EJEMPLO 2: Salida de Vía.....	35
EJEMPLO 3: Colisión por embestida	37
EJEMPLO 4: Atropello.....	57
BIBLIOGRAFÍA.....	62

CONCEPTOS GENERALES

1. INTRODUCCIÓN.

1.1. La Física. Principales Teorías de la Física.

La física es una ciencia natural que estudia las propiedades del espacio, el tiempo, la materia y la energía, así como sus interacciones. Tiene varias bifurcaciones que podrían agruparse en cinco teorías principales:

1. **La mecánica clásica**, que describe el movimiento macroscópico.
2. **El electromagnetismo**, que describe los fenómenos electromagnéticos como la luz.
3. **La relatividad**, formulada por Einstein, que describe el espacio-tiempo y la interacción gravitatoria.
4. **La termodinámica**, que describe los fenómenos moleculares y de intercambio de calor; y, finalmente...
5. **La mecánica cuántica**, que describe el comportamiento del mundo atómico.

La mecánica clásica es una formulación de la mecánica para describir mediante leyes el comportamiento de cuerpos físicos macroscópicos en reposo y a velocidades pequeñas comparadas con la velocidad de la luz. Estas leyes son generalizaciones procedentes de las observaciones de los resultados experimentales. El estudio de la reconstrucción de accidentes de tráfico se encuentra dentro de esta rama y será el motivo de nuestro estudio.

A su vez la mecánica clásica se subdivide en las ramas de:

- La **estática**, que trata con objetos en equilibrio (objetos que se consideran en un sistema de referencia en el que están parados).
- La **cinemática**, referida a los objetos que no están en equilibrio (objetos en movimiento), y...
- La **dinámica**, que estudia también los objetos en movimiento pero además analiza las causas que intervienen en su movimiento.

1.2. Definición de magnitud física.

Llamamos **magnitud física** a toda propiedad de un cuerpo que sea medible.

A las magnitudes que se definen a partir de otras se les denomina magnitudes derivadas (ej: la velocidad). Las magnitudes que se definen sin ese recurso se llaman magnitudes fundamentales (ej: la masa)

Medir es comparar una cantidad de una magnitud con otra cantidad de la misma magnitud, que se toma como patrón y que se denomina unidad.

Definidas las magnitudes se les asignará la correspondiente unidad de medida, utilizando para ello el Sistema Internacional de Unidades (SI). Veamos algunos ejemplos:

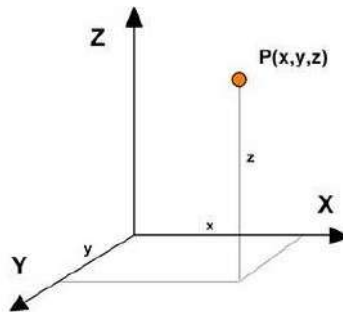
Magnitud fundamental	Unidad	Abreviatura
Longitud	metro	m
Masa	kilogramo	kg
Tiempo	segundo	s
Temperatura	kelvin	K

2. CINEMÁTICA.

2.1. Definición y conceptos básicos.

La **cinemática** es la parte de la física que se ocupa de la descripción de los diferentes movimientos que puede realizar un cuerpo, sin tener en cuenta sus causas.

Un **sistema de referencia o marco de referencia** es un conjunto de convenciones usadas por un observador para poder medir la posición y otras magnitudes físicas de un objeto o sistema físico en el tiempo y el espacio. En mecánica clásica frecuentemente se usa este concepto para referirse a un sistema de coordenadas ortogonales:



Para saber si un objeto está en **reposo** o en **movimiento** basta fijar su posición respecto a un punto (generalmente el origen del sistema de referencia) y observar si varía en el transcurso del tiempo.

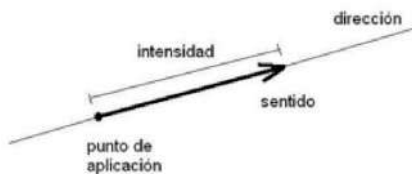
Se denomina pues **trayectoria** a la línea imaginaria que describe un cuerpo al moverse respecto al sistema

de referencia, y **desplazamiento** a la distancia en línea recta que separa dos posiciones.

La **distancia recorrida** se obtiene midiendo el espacio recorrido entre la posición inicial y final sobre la trayectoria.

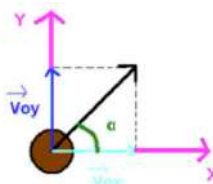
2.2. Nociones básicas de cálculo vectorial.

Un **vector** es un segmento orientado en un sistema de referencia. Para definirlo, necesitamos un **punto de origen**, un **módulo o intensidad**, una **dirección** y un **sentido**. Lo representaremos por un segmento rectilíneo con una punta de flecha en uno de sus extremos.

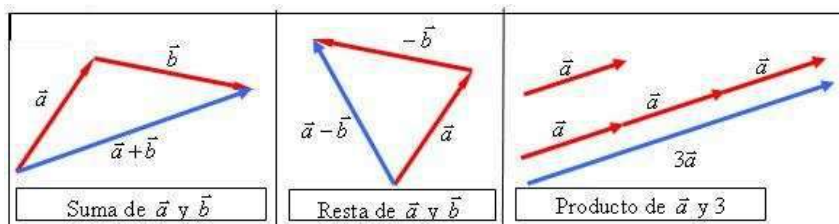


Una **magnitud física** es **escalar** cuando queda determinada tan sólo por su módulo. Sin embargo, una magnitud es **vectorial** cuando en su determinación se necesita, además de su módulo o medida, una **dirección** y un **sentido**, es decir, se precisa un vector para representarla (ej: la velocidad).

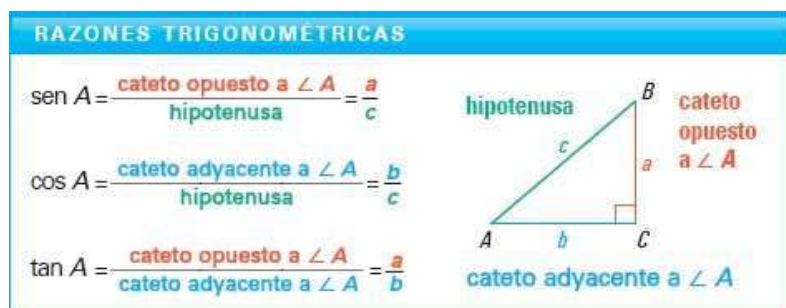
Supuestos dos ejes de coordenadas **X** e **Y**, y un vector **v**, a las proyecciones de **v** sobre los citados ejes, que determinan los vectores v_{ox} e v_{oy} se les denomina **componentes del vector**. Esto se representa como:

$$v = v_{ox} + v_{oy}$$


Operaciones con vectores. Los vectores, representantes de magnitudes escalares pueden ser operados, veamos algunos ejemplos de ello:



Las Razones Trigonométricas Básicas se definen comúnmente como el cociente entre dos lados de un triángulo rectángulo asociado a sus ángulos. En investigación de accidentes pueden ser usadas con diversas utilidades pero fundamentalmente en los procesos de medición por triangulación.



2.3. Tipos de movimientos.

2.3.1. Movimiento rectilíneo uniforme (MRU). El movimiento de una partícula es rectilíneo si su trayectoria es una línea recta, y es uniforme si su velocidad es constante.

Ecuaciones:

$$v = \frac{(s_2 - s_1)}{(t_2 - t_1)}$$

$$s = v \cdot (t_2 - t_1)$$

2.3.2. Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado (MRUA). En este movimiento la velocidad no es constante, sino que varía regularmente, ya que existe aceleración.

Ecuaciones:

$$v_f = v_i + a \cdot t$$

$$s = s_i + v_i \cdot t + 1/2 \cdot a \cdot t^2$$

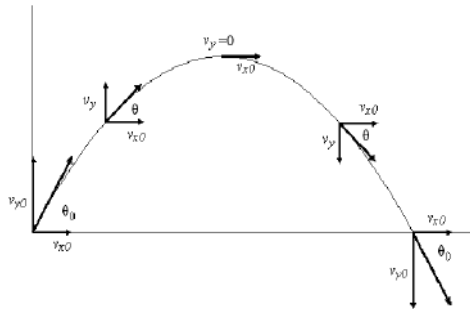
2.3.3. Caída libre. La aceleración gravitacional es la aceleración que experimenta un cuerpo que se mueve sólo por la atracción gravitacional, la cual tiene la dirección vertical y el sentido hacia abajo. Sobre la superficie de la tierra tiene un valor de $g = 9'81 \text{ m/s}^2$. Un cuerpo que cae libremente a una altura "h" del suelo está sujeto a las siguientes ecuaciones:

Ecuaciones:

$$v = g \cdot t$$

$$h = \frac{1}{2} \cdot v \cdot t$$

2.3.4. Movimiento parabólico. Se descompone en movimiento horizontal con velocidad constante y movimiento vertical uniformemente acelerado hacia abajo con $a=g$



2.3.4.1. Lanzamiento oblicuo. En este movimiento la velocidad inicial forma un ángulo θ_0 con un eje de referencia.

Ecuaciones:

$$a_x = 0; \quad a_y = -g$$

$$v_0 = v_x \cdot \mathbf{i} + v_y \cdot \mathbf{j} = v_0 \cdot \cos \theta_0 \cdot \mathbf{i} + v_0 \cdot \sin \theta_0 \cdot \mathbf{j}$$

2.3.4.2. Lanzamiento horizontal. En este caso, $\theta_0 = 0$.

Ecuaciones:

$$a_x = 0; \quad a_y = +g$$

$$v = v_x \cdot \mathbf{i} + v_y \cdot \mathbf{j} = v_0 \cdot \mathbf{i} + g \cdot t \cdot \mathbf{j}$$

3. DINÁMICA.

3.1. Conceptos de Fuerza y Trabajo.

La **dinámica** es la parte de la física que estudia el movimiento de los cuerpos considerando las causas que lo originan o modifican, es decir, las fuerzas.

Fuerza es todo agente capaz de modificar la cantidad de movimiento o la forma de los cuerpos materiales. La fuerza necesaria para producir una aceleración de 1m/s^2 sobre el cuerpo patrón es por definición un newton (N). Así pues, la fuerza se define en función de la aceleración que produce sobre el cuerpo patrón.

El **Trabajo** es una magnitud física escalar que se representa con la letra W y se expresa en Julios (J) en el Sistema Internacional de Unidades. El trabajo es realizado por una fuerza que actúa sobre un cuerpo.

3.2. Leyes de Newton.

1. **Primera ley:** Todo cuerpo continúa en su estado de reposo o de movimiento uniforme sobre una línea recta a no ser que se le obligue a variar dicho estado mediante fuerzas que actúen sobre él.

2. **Segunda ley:** La variación del movimiento es proporcional a la fuerza motora a que se le somete y se realiza en el sentido de la recta en la que la fuerza actúa.

$$\sum F = m \cdot a$$

3. **Tercera ley:** Con toda acción ocurre siempre una reacción igual y contraria.

Permitiendo deducir que las acciones mutuas de dos cuerpos siempre son iguales y dirigidas en sentido opuesto (principio de acción-reacción).

3.3. Fuerza de rozamiento.

Cuando dos cuerpos se encuentran en contacto se ejercen respectivas fuerzas entre sí, debido a la interacción de las moléculas de un cuerpo con las del otro. La componente tangencial de la fuerza de contacto ejercida por un cuerpo sobre el otro recibe el nombre de **fuerza de rozamiento**.

La fuerza máxima de fricción estática $f_{e,max}$ es proporcional a la fuerza normal entre las superficies de contacto:

$$f_{e,max} = N \cdot \mu_e$$

Donde μ_e es el llamado **coeficiente de fricción estática** y depende de la naturaleza de las superficies de contacto.

Si actuamos sobre un cuerpo con la fuerza suficiente, la fuerza de fricción estática no puede evitar su movimiento y el cuerpo comenzaría a deslizarse. Estaríamos ante el caso de fuerza de rozamiento cinética:

$$f_c = N \cdot \mu_c$$

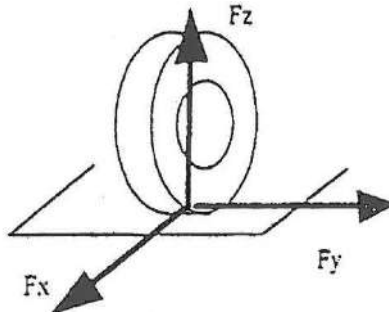
En una frenada sin bloqueo de ruedas, el neumático rueda sobre la carretera sin deslizarse, por lo que estamos ante el caso de rozamiento estático. Cuando las ruedas se bloquean, éstas se deslizan sobre la

carretera por lo que estamos ante el caso de rozamiento cinético o dinámico.

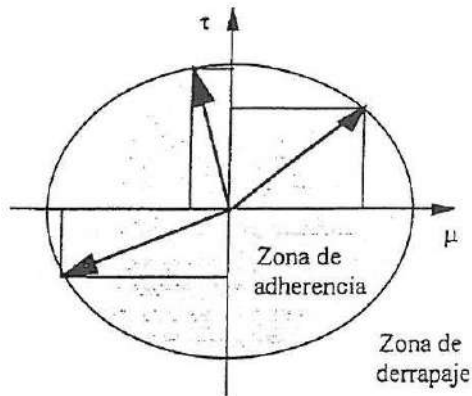
Existen además dos tipos de coeficientes de rozamiento:

1. **Coeficiente de rozamiento longitudinal.** Es el que actúa en la dirección huella-carretera (F_x) y se representa por μ

2. **Coeficiente de rozamiento transversal.** Actúa en la dirección perpendicular al coeficiente longitudinal (F_y) y se representa por τ



La **adherencia** es la capacidad que tiene un cuerpo para evitar el deslizamiento. Antes de comenzar a deslizar, los neumáticos pueden aguantar esfuerzos hasta un determinado límite. El potencial de adherencia de los neumáticos se puede representar mediante un elipsoide que establecen los límites que rebasados determinan el derrapaje:



Además, el coeficiente de rozamiento debe ser corregido debido a la inclinación del terreno de la siguiente manera:

$$\mu_{\text{corregido}} = \mu + \% \text{ inclinación (para rampas y peraltes positivos)}$$

$$\mu_{\text{corregido}} = \mu - \% \text{ inclinación (para pendientes y peraltes negativos)}$$

Por último, para la determinación del coeficiente de rozamiento es necesario recurrir a métodos prácticos. Estos resultados son recogidos en forma de tablas que utilizaremos en función del tipo de terreno en el que nos encontremos.

Coeficientes dinámicos de rozamiento orientativos

Estado de la calzada	SECA				HÚMEDA			
Tramo de velocidad	< 50 Km/h		> 50 Km/h		< 50 Km/h		> 50 Km/h	
	de...	a...	de...	a...	de...	a...	de...	a...
Hormigón								
Nuevo, liso	0,80	1,20	0,70	1,00	0,50	0,80	0,40	0,75
Usado	0,60	0,80	0,60	0,75	0,45	0,70	0,45	0,65
Pulido por el tráfico	0,55	0,75	0,50	0,65	0,45	0,65	0,45	0,60
Asfalto o alquitrán								
Nuevo, liso	0,80	1,20	0,65	1,00	0,50	0,80	0,45	0,75
Usado	0,60	0,80	0,55	0,70	0,45	0,70	0,40	0,65
Pulido por el tráfico	0,55	0,75	0,45	0,65	0,45	0,65	0,40	0,60
Exceso de alquitrán	0,50	0,60	0,35	0,60	0,30	0,60	0,25	0,55
Adoquín								
Nuevo, liso	0,75	0,95	0,60	0,85	0,50	0,75	0,45	0,70
Pulido por el tráfico	0,60	0,80	0,55	0,75	0,40	0,70	0,40	0,60
Piedra Compacta								
Nuevo, lisa	0,75	1,00	0,70	0,90	0,65	0,90	0,60	0,85
Pulida por el tráfico	0,50	0,70	0,45	0,65	0,30	0,50	0,25	0,50
Grava								
Apisonada, con riego asfáltico	0,55	0,85	0,50	0,80	0,40	0,80	0,40	0,60
Suelta	0,40	0,70	0,40	0,70	0,45	0,75	0,45	0,75
Escorias								
Compactadas	0,50	0,70	0,50	0,70	0,65	0,75	0,65	0,75
Piedra								
Machacada	0,55	0,75	0,55	0,75	0,55	0,75	0,55	0,75
Hielo								
Liso	0,10	0,25	0,07	0,20	0,05	0,10	0,05	0,10
Nieve								
Compacta	0,30	0,55	0,35	0,55	0,30	0,60	0,30	0,60
Suelta	0,10	0,25	0,10	0,20	0,30	0,60	0,30	0,60
Reja metálica								
Con ranuras	0,70	0,90	0,35	0,75	0,25	0,45	0,20	0,35

Fuente: Traffic Institute de la Universidad de Northwestern (EE.UU)

3.3.1. Proceso de frenado.

En el proceso de frenado, el sistema de frenado comienza la deceleración progresiva del vehículo hasta el bloqueo de las ruedas. Este bloqueo de ruedas constituye la aparición de **huellas de frenada**. Éstas constituyen el indicio más objetivo y fiable para la determinación de la velocidad del vehículo, y son la evidencia sobre el terreno de la realización del trabajo de rozamiento a lo largo de una distancia "d", donde P es el peso del vehículo.

$$F_{\text{rozamiento}} = P \cdot \mu_{\text{corregido}}$$

$$W_{\text{Frozamiento}} = P \cdot \mu_{\text{corregido}} \cdot d$$

Previo al bloqueo de ruedas transcurre un intervalo de tiempo en el que los frenos no ejercen toda su fuerza, es el llamado **tiempo de respuesta del sistema de frenado** y es aproximadamente igual a 0'25 s. Para la aceleración "a" debida a esta frenada previa al bloqueo de ruedas se adopta un valor medio de $1/2 \cdot g \cdot \mu$. Por lo que:

$$v_{\text{inicial}} = v_{\text{antes de bloqueo}} + a \cdot t$$

3.4. Principio de Conservación de la Cantidad de Movimiento.

En colisiones, la suma vectorial de las cantidades de movimiento justo antes de que ocurra el evento, es igual a la suma vectorial de las cantidades de movimiento inmediatamente después de lo ocurrido.

Cuando dos cuerpos de masas m_1 y m_2 colisionan:

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot v'_1 + m_2 \cdot v'_2$$

Donde v_1, v_2 son las velocidades de los vehículos antes de la colisión y v'_1, v'_2 son las velocidades de los vehículos después de la colisión.

En componentes vectoriales:

$$m_1 \cdot v_{1x} + m_2 \cdot v_{2x} = m_1 \cdot v'_{1x} + m_2 \cdot v'_{2x}$$

$$m_1 \cdot v_{1y} + m_2 \cdot v_{2y} = m_1 \cdot v'_{1y} + m_2 \cdot v'_{2y}$$

3.5. Concepto de Energía.

En física, **Energía** se define como la capacidad para realizar un trabajo, y su unidad internacional de medida es el Julio (J).

3.5.1. Energía cinética.

La **Energía Cinética** (E_c) de un objeto es su capacidad para realizar un trabajo debido a su movimiento.

$$E_c = 1/2 \cdot m \cdot v^2$$

Siendo m la masa del objeto y v su velocidad.

3.5.2. Energía potencial.

La **Energía potencial** (E_p) de un objeto es su capacidad para realizar trabajo debido a su posición en el campo gravitacional. La energía potencial de gravitación en el campo terrestre es la aptitud que tiene el peso ($m \cdot g$) de los cuerpos para realizar, al caer éstos, un trabajo.

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

Siendo h la altura sobre la superficie terrestre a la que está situada el cuerpo.

3.5.3. Energía de rozamiento.

Emplearemos este término para definir la cantidad de energía desarrollada por los neumáticos en la fase de frenado con bloqueo de ruedas o en la fase de ruedas trabadas postcolisión:

$$E_{rozamiento} = P \cdot \mu \cdot d$$

Donde d es la distancia recorrida desde el bloqueo de ruedas o desde el punto de colisión con ruedas trabadas.

3.5.4. Principio de conservación de la energía.

La ley de la conservación de la energía afirma que la energía no puede crearse ni destruirse, sólo se puede transformar de una forma a otra.

(Ver Problema-Ejemplo nº1)

3.6. Fuerza centrípeta.

Se llama **Fuerza centrípeta** a la fuerza, o a la componente de fuerza, dirigida hacia el centro de curvatura de la trayectoria, que actúa sobre un objeto en movimiento sobre una trayectoria curvilínea.

$$F_{centripeta} = m \cdot \left(\frac{v^2}{r} \right)$$

Como consecuencia de la tercera ley de Newton, aparece una fuerza ficticia denominada **Fuerza centrífuga**, opuesta a la centrípeta, que es la que nos lleva al exterior de la curva cuando vamos en un coche.

3.6.1. Velocidad límite en curvas.

En una curva puede suceder que el vehículo pierda adherencia y se produzca el derrapaje (fricción lateral) al sobrepasar el límite de los esfuerzos tangenciales que pueden soportar sus neumáticos.

Para compensar la fuerza centrífuga en las curvas de las carreteras se construyen los peraltes con inclinación.

(Ver Problema-Ejemplo nº2).

4. ESTUDIO DE COLISIONES.

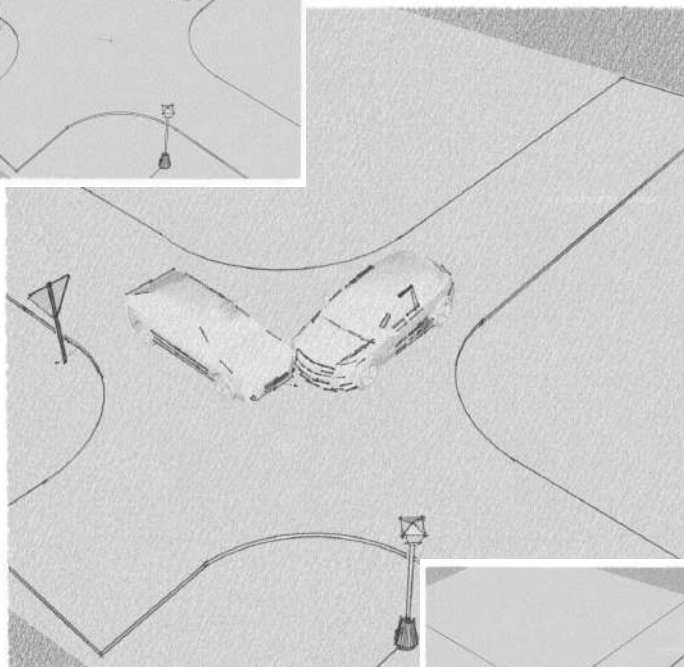
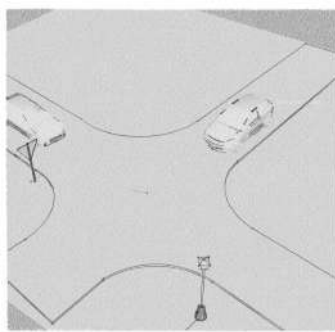
4.1. Esquema deductivo.

Para resolver los problemas de colisiones, analizaremos el problema en orden inverso a su cronología.



Las colisiones que trataremos serán choques no perfectamente elásticos en los que se conservará la cantidad de movimiento pero no la energía cinética.

(Ver Problema-Ejemplo 3)



5. ANÁLISIS DE ATROPELLOS A CICLISTAS Y PEATONES.

5.1. Tipología de los atropellos.

Según sea el tipo de movimientos que el atropellado experimenta tras haberse producido el contacto entre él y el vehículo, los atropellos se pueden clasificar en:

A. Atropellos con el frontal del vehículo.

Subdivididos a su vez en:

- **Por Transporte:** La geometría frontal del vehículo provoca que este sea “transportado” por el frontal del vehículo durante una distancia que depende de dicha geometría, de la velocidad del vehículo y de las acciones del conductor
- **Por Proyección:** El atropellado es proyectado bien hacia delante o bien lateralmente.
- **Por Volteo:** El atropellado es proyectado verticalmente y hacia arriba, con lo que puede llegar a pasar por encima del vehículo y finalizar detrás del mismo.

B. Atropellos laterales o barridos.

Este tipo de atropellos se producen por contacto del atropellado con los laterales del vehículo, provocando en él una rotación sobre sí mismo y escasos desplazamientos laterales.

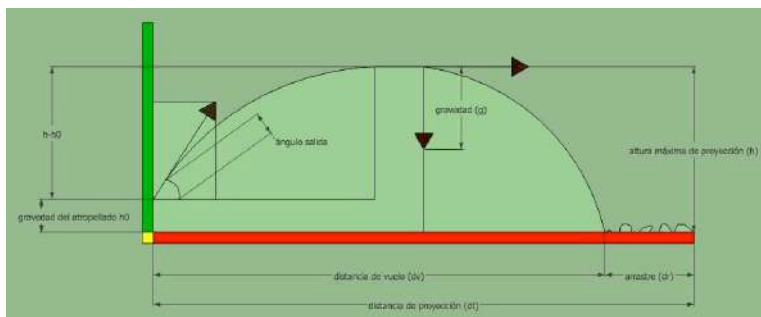
5.2. Principios físicos y mecánicos utilizados en la reconstrucción analítica.

El estudio desarrolló un modelo que puede ser utilizado para hallar la velocidad del vehículo en el momento del impacto contra un peatón que sufre un atropello con proyección.

5.2.1. Método de Appel-Searle.

El **método de Appel-Searle** representa una mejora del método de Appel en el que se considera, la trayectoria completa que sigue el peatón después del atropello, con un posterior desplazamiento por arrastre en el lugar de caída tras el tiro parabólico.

El movimiento producido por el peatón sigue el siguiente esquema:



El peatón vuela una distancia, impacta en el suelo y, a continuación, desliza hasta alcanzar su posición final. Searle realizó un estudio teórico de esta composición de movimientos y determinó una ecuación que correlaciona la velocidad de proyección del peatón:

$$v = \frac{\sqrt{2 \cdot \mu \cdot g \cdot (d_t - \mu \cdot H)}}{(1 + \mu^2)}$$

Donde d_t es la distancia de vuelo más el deslizamiento posterior ($d_t = d_v + d_r$) y H es la distancia desde la calzada al centro de gravedad del cuerpo.

A la velocidad resultante se le aplica un factor de corrección en función del coeficiente de rozamiento estimado entre el cuerpo de la persona y la calzada, según la siguiente tabla:

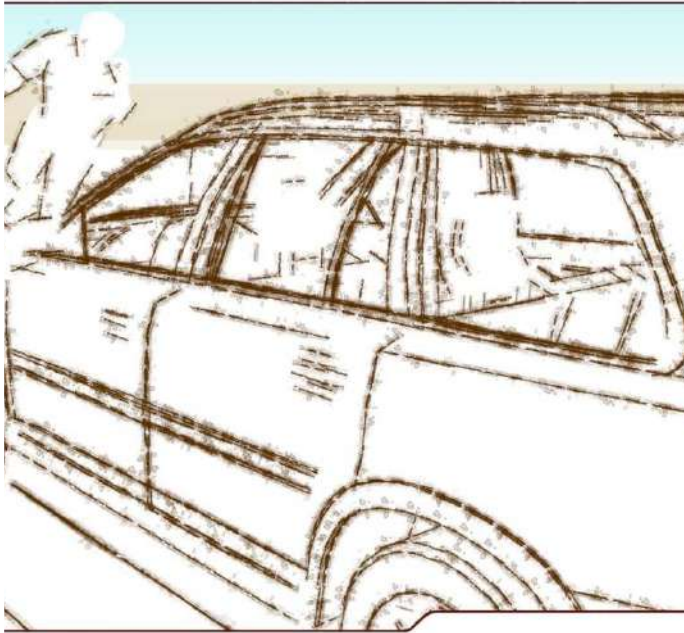
Coeficiente μ estimado	Porcentaje de disminución
0,1	0,4%
0,2	1,5%
0,3	2,8%
0,4	3,9%
0,5	4,6%
0,6	4,9%
0,7	4,8%
0,8	4,3%
0,9	3,5%
1	2,5%

$$v_{\text{proyección corregida}} = v - \text{porcentaje de disminución}$$

Para finalizar, Searle determinó experimentalmente que la velocidad real a la que circulaba el vehículo era un **10% superior a esta velocidad de proyección corregida en caso de infantes y un 20% superior en el caso de personas adultas.**

(Ver Problema-Ejemplo 4).

PROBLEMAS-EJEMPLO



EJEMPLO 1 : Frenada sin colisión

1.1. Un conductor de unos 75kg que circula por una carretera de hormigón seco con una motocicleta de 150kg, ante amenaza de colisión, realiza una maniobra de frenado bloqueando ambas ruedas y quedando completamente parado a 2m de distancia de la amenaza. Si las huellas de frenado indican un deslizamiento de 9m, ¿A qué velocidad circulaba la motocicleta antes de realizar dicha maniobra?

Datos: Tomar $\mu=0'85$

Solución:

$$F_{roz} = N \cdot \mu_{corregido} = P \cdot \mu_{corregido} = m \cdot g \cdot \mu_{corregido}$$

$$F_{roz} = 225kg \cdot 9'8m/s \cdot 0'85$$

$$W_{Froz} = F_{roz} \cdot d$$

$$W_{Froz} = 225kg \cdot 9'8m/s \cdot 0'85 \cdot 9m$$

$$W_{Froz} = 16868'25 J$$

Todo el trabajo realizado por la fuerza de rozamiento se emplea para frenar el vehículo. Por tanto, toda la energía cinética que llevaba la motocicleta se transforma en energía de rozamiento:

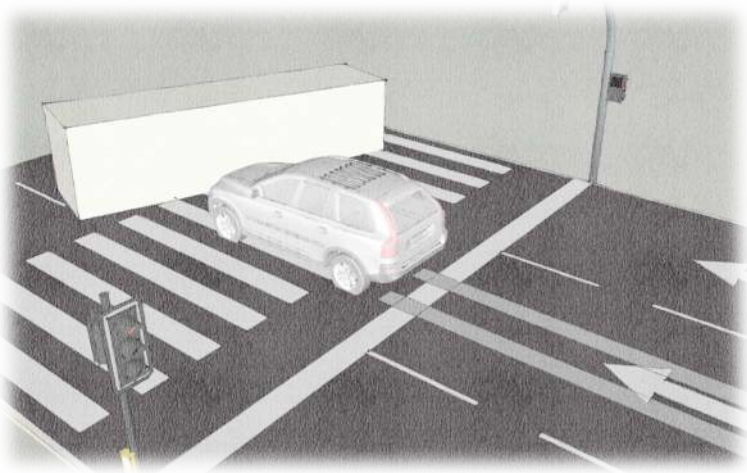
$$E_{cin} = W_{Froz}$$

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = W_{Froz}$$

Despejando la velocidad:

$$v = \sqrt{2 \cdot \frac{W_{Froz}}{m}}$$

$$v = 12'24 \frac{m}{s} = 44'08 \text{ km/h}$$



1.2. Un vehículo de 1200kg con un ocupante adulto de 75kg que circula por una carretera de asfalto húmedo en rampa con peralte positivo del 5% divisa un peatón a 30m de distancia. El conductor realiza una maniobra de frenado bloqueando las ruedas y deslizando hasta quedar a 2m de distancia del peatón. Suponiendo que la distancia recorrida desde que el conductor divisa al peatón hasta que comienza el bloqueo de ruedas es de 3m, calcule la velocidad a la que circulaba el vehículo al divisar al peatón.

Datos: Tomar $\mu=0'54$

Solución:

En primer lugar hallaremos la distancia de frenado:

$$30m - 2m - 3m = 25m$$

A continuación se corrige el coeficiente de rozamiento debido a la inclinación del terreno:

$$\mu_{\text{corregido}} = \mu + \text{inclinación}$$

$$\mu_{\text{corregido}} = 0'54 + 0'05 = 0'59$$

Por último procedemos como en el ejemplo 1.1.

$$F_{\text{roz}} = N \cdot \mu_{\text{corregido}} = P \cdot \mu_{\text{corregido}} = m \cdot g \cdot \mu_{\text{corregido}}$$

$$F_{\text{roz}} = 1275kg \cdot 9'8m/s \cdot 0'59$$

$$W_{F_{\text{roz}}} = F_{\text{roz}} \cdot d$$

$$W_{Froz} = 1275kg \cdot 9'8m/s \cdot 0'59 \cdot 25m$$

$$W_{Froz} = 184301'25 J$$

Todo el trabajo realizado por la fuerza de rozamiento se emplea para frenar el vehículo. Por tanto, toda la energía cinética que llevaba éste se transforma en energía de rozamiento:

$$E_{cin} = W_{Froz}$$

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = W_{Froz}$$

Despejamos de esta fórmula la velocidad:

$$v = \sqrt{2 \cdot \frac{W_{Froz}}{m}}$$

$v = 17 \frac{m}{s} = 61'21 km/h$

EJEMPLO 2: Salida de Vía

2.1. Un coche viaja por una carretera horizontal describiendo una circunferencia de 70m de radio. Si el coeficiente de rozamiento estático es de $\mu=0'7$, ¿Cuál es la velocidad máxima a la que puede circular el coche sin salirse de la carretera?

Solución:

En el eje vertical, la fuerza Normal N equilibra el Peso P que ejerce la gravedad hacia abajo. En el eje horizontal sólo existe una fuerza, la de rozamiento, que es la fuerza centrípeta. Su valor máximo se alcanza cuando se iguala al producto de la normal N por el coeficiente de rozamiento μ :

$$F_{r,max} = \mu_e \cdot N = m \cdot \frac{v_{max}^2}{r}$$

De aquí podemos despejar la velocidad máxima a la que puede circular el coche sin salirse de la carretera:

$$v_{max} = \sqrt{\mu \cdot g \cdot r} = 21'91 \text{ m/s} = 78'89 \text{ km/h}$$



2.2. Un vehículo viaja por una carretera en pendiente con peralte negativo e inclinación del 12% a 65km/h describiendo una circunferencia de 50m de radio. Si el coeficiente de rozamiento estático es de $\mu=0'55$, ¿Se saldrá de la carretera si no reduce su velocidad?

Solución:

En primer lugar debemos de hallar el coeficiente de rozamiento corregido:

$$\mu_{\text{corregido}} = \mu - \text{inclinación}$$

$$\mu_{\text{corregido}} = 0'55 - 0'12 = 0'43$$

A continuación procedemos como en el ejemplo 2.1:

$$F_{r,\text{max}} = \mu_e \cdot N = m \cdot \frac{v_{\text{max}}^2}{r}$$

De aquí podemos despejar la velocidad máxima a la que puede circular el coche sin salirse de la carretera:

$v_{\text{max}} = \sqrt{\mu \cdot g \cdot r} = 14'51 \text{ m/s} = \mathbf{52'25 \text{ km/h}}$

Por lo tanto, el vehículo se saldrá de la carretera si no reduce su velocidad en al menos 13 km/h

EJEMPLO 3: Colisión por embestida

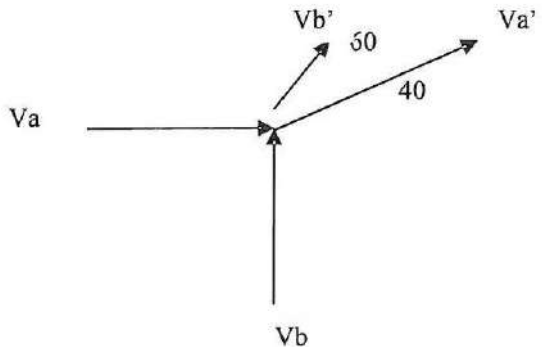
3.1. Dos vehículos que circulan por vías de asfalto húmedo colisionan perpendicularmente. Los datos recogidos en el escenario del accidente son los siguientes:

CARACTERÍSTICAS DE LOS VEHÍCULOS	VEHÍCULO A	VEHÍCULO B
PESO DEL VEHÍCULO	1250Kg	1150kg
Nº DE OCUPANTES ADULTOS	2	3
Nº DE OCUPANTES INFANTILES	1	0
HUELLAS DE FRENADO		
PRECOLISIÓN	11 m	9 m
POSTCOLISIÓN	25 m	17 m

CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA

ASFALTO HÚMEDO: $\mu=0'6$

ESQUEMA ANGULAR



Calcule las velocidades de los vehículos al percibir la amenaza, antes de accionar los frenos.

Solución:

Se analizará la colisión en orden inverso a su producción:

POSTCOLISIÓN

En primer lugar y gracias a las huellas de frenado de la fase de postcolisión, se determinará la velocidad residual (velocidad de salida después del impacto) de ambos vehículos.

VEHÍCULO A:

Se comienza por determinar la masa total de los vehículos con los datos conocidos:

$$M_A = M_{Vehículo} + N_{adultos} \cdot 75kg + N_{infantiles} \cdot 40kg$$

$$M_A = 1250kg + 2 \cdot 75kg + 1 \cdot 40kg = 1440kg$$

A continuación procedemos a calcular la velocidad residual como en el ejemplo 1.1.

$$F_{roz} = P \cdot \mu_{corregido} = M_A \cdot g \cdot \mu_{corregido}$$

$$F_{roz} = 1440kg \cdot 9'8m/s \cdot 0'6$$

$$W_{Froz} = F_{roz} \cdot d$$

$$W_{Froz} = 1440kg \cdot 9'8m/s \cdot 0'6 \cdot 25m$$

$$W_{Froz} = 211680 J$$

Todo el trabajo realizado por la fuerza de rozamiento se emplea para frenar el vehículo. Por tanto, toda la energía cinética se transforma en energía de rozamiento:

$$E_{cin} = W_{Froz}$$

$$\frac{1}{2} \cdot M_A \cdot v_{RA}^2 = W_{Froz}$$

Despejando la velocidad:

$$v_{RA} = \sqrt{2 \cdot \frac{W_{Froz}}{M_A}}$$

$v_{RA} = 17'15 \frac{m}{s} = \mathbf{61'73 \text{ km/h}}$
--

VEHÍCULO B:

Se comienza determinando la masa total conocida del vehículo B, incluyendo los pasajeros:

$$M_B = M_{Vehículo} + N_{adultos} \cdot 75kg + N_{infantiles} \cdot 40kg$$

$$M_B = 1150kg + 3 \cdot 75kg + 0 \cdot 40kg = 1375kg$$

A continuación procedemos a calcular la velocidad residual como en el ejemplo 1.1.

$$F_{roz} = P \cdot \mu_{corregido} = M_B \cdot g \cdot \mu_{corregido}$$

$$F_{roz} = 1375kg \cdot 9'8m/s \cdot 0'6$$

$$W_{Froz} = F_{roz} \cdot d$$

$$W_{Froz} = 1375kg \cdot 9'8m/s \cdot 0'6 \cdot 17m$$

$$W_{Froz} = 137445 J$$

Todo el trabajo realizado por la fuerza de rozamiento se emplea para frenar el vehículo. Por tanto, toda la energía cinética se transforma en energía de rozamiento:

$$E_{cin} = W_{Froz}$$

$$\frac{1}{2} \cdot M_B \cdot v_{RB}^2 = W_{Froz}$$

Despejando la velocidad:

$$v_{RB} = \sqrt{2 \cdot \frac{W_{Froz}}{M_B}}$$

$v_{RB} = 14'14 \frac{m}{s} = \mathbf{50'90 km/h}$
--

COLISIÓN

En la fase de colisión se aplicará el principio de conservación de la cantidad de movimiento para hallar la velocidad precolisión de ambos vehículos (v_{PA} y v_{PB}) a partir de sus velocidades residuales (v_{RA} y v_{RB})

$$M_A \cdot v_{PA} + M_B \cdot v_{PB} = M_A \cdot v_{RA} + M_B \cdot v_{RB}$$

Para ello, debemos descomponer las velocidades de los vehículos en componentes verticales y horizontales.

EJE X:

$$M_A \cdot v_{PA} \cdot \cos 0^\circ + M_B \cdot v_{PB} \cdot \cos 90^\circ = M_A \cdot v_{RA} \cdot \cos 40^\circ + M_B \cdot v_{RB} \cdot \cos 50^\circ$$

$$1440kg \cdot v_{PA} \cdot 1 + 1375kg \cdot v_{PB} \cdot 0 = 1440kg \cdot 17'14m/s \cdot 0'77 + 1375kg \cdot 14'14m/s \cdot 0'64$$

$$1440 \cdot v_{PA} = 31448'03$$

$$v_{PA} = \frac{21'83m}{s} = 78'62 \text{ km/h}$$

EJE Y:

$$M_A \cdot v_{PA} \cdot \sin 0^\circ + M_B \cdot v_{PB} \cdot \sin 90^\circ = M_A \cdot v_{RA} \cdot \sin 40^\circ + M_B \cdot v_{RB} \cdot \sin 50^\circ$$

$$1440kg \cdot v_{PA} \cdot 0 + 1375kg \cdot v_{PB} \cdot 1 = 1440kg \cdot 17'14m/s \cdot 0'64 + 1375kg \cdot 14'14m/s \cdot 0'77$$

$$1375 \cdot v_{PB} = 30766'95$$

$$v_{PB} = \frac{22'37m}{s} = 80'55 \text{ km/h}$$

PRECOLISIÓN

En una primera fase de precolisión se calcularán las velocidades de los vehículos justo antes de comenzar a bloquear las ruedas ($v_{AB,A}$ y $v_{AB,B}$). Para ello se utilizará la longitud de las huellas de frenada en la fase de precolisión:

VEHÍCULO A

$$F_{roz} = P \cdot \mu_{corregido} = M_A \cdot g \cdot \mu_{corregido}$$

$$F_{roz} = 1440kg \cdot 9'8m/s \cdot 0'6$$

$$W_{Froz} = F_{roz} \cdot d$$

$$W_{Froz} = 1440kg \cdot 9'8m/s \cdot 0'6 \cdot 11m$$

$$W_{Froz} = 93139'2 J$$

A este trabajo de la fuerza de rozamiento se le debe de sumar la energía cinética que llevaba el vehículo en el momento del impacto para hallar finalmente la energía total del vehículo justo al accionar los frenos y comenzar el bloqueo:

$$E_{total} = E_{cin} + W_{Froz}$$

$$\begin{aligned} E_{cin} &= \frac{1}{2} \cdot M_A \cdot v_{PA}^2 = \frac{1}{2} \cdot 1440kg \cdot (21'83m/s)^2 \\ &= 343115'21 J \end{aligned}$$

$$E_{total} = 343115'21 J + 93139'2 J = 436254'41$$

Esta energía no es más que energía cinética pues el vehículo está en movimiento. Por lo tanto, se despeja la velocidad de A en el punto de decisión a partir de la siguiente fórmula:

$$E_{cin} = \frac{1}{2} \cdot M_A \cdot v_{AB,A}^2$$

$$v_{AB,A} = \sqrt{2 \cdot \frac{E_{cin}}{M_A}}$$

$$v_{AB,A} = 24'61 \frac{m}{s} = \mathbf{88'61 \text{ km/h}}$$

VEHÍCULO B

$$F_{roz} = P \cdot \mu_{corregido} = M_B \cdot g \cdot \mu_{corregido}$$

$$F_{roz} = 1375kg \cdot 9'8m/s \cdot 0'6$$

$$W_{Froz} = F_{roz} \cdot d$$

$$W_{Froz} = 1375kg \cdot 9'8m/s \cdot 0'6 \cdot 9m$$

$$W_{Froz} = 72765 \text{ J}$$

A este trabajo de la fuerza de rozamiento se debe sumar la energía cinética que llevaba el vehículo en el momento del impacto para hallar finalmente la energía total del vehículo justo al accionar los frenos y comenzar el bloqueo:

$$E_{total} = E_{cin} + W_{Froz}$$

$$E_{cin} = \frac{1}{2} \cdot M_A \cdot v_{PB}^2 = \frac{1}{2} \cdot 1375kg \cdot (22'37m/s)^2 = 344036'62 J$$

$$E_{total} = 344036'62 J + 72765 J = 416801'62 J$$

Esta energía no es más que energía cinética pues el vehículo está en movimiento. Por lo tanto, se despeja la velocidad de A en el punto de decisión a partir de la siguiente fórmula:

$$E_{cin} = \frac{1}{2} \cdot M_B \cdot v_{AB,B}^2$$

$$v_{AB,B} = \sqrt{2 \cdot \frac{E_{cin}}{M_B}}$$

$$v_{AB,B} = 24'62 \frac{m}{s} = \mathbf{88'64 km/h}$$

A la velocidad antes calculada, hay que añadir la velocidad perdida por la deceleración debida a la frenada previa al bloqueo de ruedas:

$$v_{IA} = v_{AB,A} + a \cdot t$$

$$v_{IB} = v_{AB,B} + a \cdot t$$

Para la aceleración "a" debido a la frenada previa al bloqueo de ruedas se adopta un valor medio de $1/2 \cdot g \cdot \mu$. El valor "t" de tiempo de respuesta del sistema de frenado en condiciones óptimas puede considerarse igual a 0'25s.

VEHÍCULO A

$$v_{IA} = \frac{24'61m}{s} + \frac{1}{2} \cdot \frac{9'8m}{s^2} \cdot 0'6 \cdot 0'25s = \frac{25'34m}{s} = 91'24km/h$$

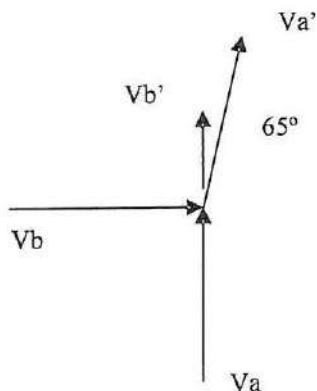
VEHÍCULO B

$$v_{IB} = \frac{24'62m}{s} + \frac{1}{2} \cdot \frac{9'8m}{s^2} \cdot 0'6 \cdot 0'25s = \frac{25'35m}{s} = 91'28km/h$$

3.2. Dos vehículos que circulan por vías de asfalto colisionan perpendicularmente. Los datos recogidos en el escenario del accidente son los siguientes:

CARACTERÍSTICAS DE LOS VEHÍCULOS	VEHÍCULO A	VEHÍCULO B
PESO DEL VEHÍCULO	1250Kg	1120kg
Nº DE OCUPANTES ADULTOS	2	2
Nº DE OCUPANTES INFANTILES	0	1
HUELLAS DE FRENADO		
PRECOLISIÓN	5 m	6 m
POSTCOLISIÓN	12 m	14 m

ESQUEMA ANGULAR



CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA

ASFALTO: $\mu = 0'9$

Calcule para ambos vehículos la distancia desde el PPR (Punto de percepción real) al punto de colisión (PC).

Solución:

Se analizará la colisión en orden inverso a su producción:

POSTCOLISIÓN

En primer lugar y gracias a las huellas de frenado de la fase de postcolisión, se determinará la velocidad residual (velocidad de salida después del impacto) de ambos vehículos.

VEHÍCULO A:

Se comienza por determinar la masa total de los vehículos con los datos conocidos:

$$M_A = M_{Vehículo} + N^o_{adultos} \cdot 75kg + N^o_{infantiles} \cdot 40kg$$

$$M_A = 1250kg + 2 \cdot 75kg + 0 \cdot 40kg = 1400kg$$

A continuación procedemos a calcular la velocidad residual como en el ejemplo 1.1.

$$F_{roz} = P \cdot \mu_{corregido} = M_A \cdot g \cdot \mu_{corregido}$$

$$F_{roz} = 1400kg \cdot 9'8m/s \cdot 0'9$$

$$W_{Froz} = F_{roz} \cdot d$$

$$W_{Froz} = 1400kg \cdot 9'8m/s \cdot 0'9 \cdot 12m$$

$$W_{Froz} = 148176 J$$

Todo el trabajo realizado por la fuerza de rozamiento se emplea para frenar el vehículo. Por tanto, toda la energía cinética se transforma en energía de rozamiento:

$$E_{cin} = W_{Froz}$$

$$\frac{1}{2} \cdot M_A \cdot v_{RA}^2 = W_{Froz}$$

Despejando la velocidad:

$$v_{RA} = \sqrt{2 \cdot \frac{W_{Froz}}{M_A}}$$

$v_{RA} = 14'55 \frac{m}{s} = 52'38 km/h$

VEHÍCULO B:

Se comienza por determinar la masa total de los vehículos con los datos conocidos:

$$M_B = M_{vehículo} + N_{adultos} \cdot 75kg + N_{infantiles} \cdot 40kg$$

$$M_B = 1120kg + 2 \cdot 75kg + 1 \cdot 40kg = 1310kg$$

A continuación procedemos a calcular la velocidad residual como en el ejemplo 1.1.

$$F_{roz} = P \cdot \mu_{corregido} = M_B \cdot g \cdot \mu_{corregido}$$

$$F_{roz} = 1310kg \cdot 9'8m/s \cdot 0'9$$

$$W_{Froz} = F_{roz} \cdot d$$

$$W_{Froz} = 1310kg \cdot 9'8m/s \cdot 0'9 \cdot 14m$$

$$W_{Froz} = 161758'8 J$$

Todo el trabajo realizado por la fuerza de rozamiento se emplea para frenar el vehículo. Por tanto, toda la energía cinética se transforma en energía de rozamiento:

$$E_{cin} = W_{Froz}$$

$$\frac{1}{2} \cdot M_B \cdot v_{RB}^2 = W_{Froz}$$

Despejando la velocidad:

$$v_{RB} = \sqrt{2 \cdot \frac{W_{Froz}}{M_B}}$$

$v_{RB} = 15'71 \frac{m}{s} = 56'57 km/h$

COLISIÓN

En la fase de colisión se aplicará el principio de conservación de la cantidad de movimiento para hallar la velocidad precolisión de ambos vehículos (v_{PA} y v_{PB}) a partir de sus velocidades residuales (v_{RA} y v_{RB})

$$M_A \cdot v_{PA} + M_B \cdot v_{PB} = M_A \cdot v_{RA} + M_B \cdot v_{RB}$$

Para ello, debemos descomponer las velocidades de los vehículos en componentes verticales y horizontales.

EJE X:

$$M_A \cdot v_{PA} \cdot \cos 90^\circ + M_B \cdot v_{PB} \cdot \cos 0^\circ = M_A \cdot v_{RA} \cdot \cos 65^\circ + M_B \cdot v_{RB} \cdot \cos 90^\circ$$

$$1400kg \cdot v_{PA} \cdot 0 + 1310kg \cdot v_{PB} \cdot 1 = 1400kg \cdot 14'55m/s \cdot 0'42 + 1310kg \cdot 15'71m/s \cdot 0$$

$$1310 \cdot v_{PB} = 8555'4$$

$$v_{PB} = \frac{6'53m}{s} = 23'51km/h$$

EJE Y:

$$M_A \cdot v_{PA} \cdot \sin 90^\circ + M_B \cdot v_{PB} \cdot \sin 0^\circ = M_A \cdot v_{RA} \cdot \sin 65^\circ + M_B \cdot v_{RB} \cdot \sin 90^\circ$$

$$1400kg \cdot v_{PA} \cdot 1 + 1310kg \cdot v_{PB} \cdot 0 = 1400kg \cdot 14'55m/s \cdot 0'91 + 1310kg \cdot 15'71m/s \cdot 1$$

$$1400 \cdot v_{PA} = 39116'8$$

$$v_{PA} = \frac{27'94m}{s} = 100'59km/h$$

PRECOLISIÓN

En una primera fase de precolisión se calcularán las velocidades de los vehículos justo antes de comenzar a bloquear las ruedas ($v_{AB,A}$ y $v_{AB,B}$). Para ello se utilizará la longitud de las huellas de frenada en la fase de precolisión:

VEHÍCULO A

$$F_{roz} = P \cdot \mu_{corregido} = M_A \cdot g \cdot \mu_{corregido}$$

$$F_{roz} = 1400kg \cdot 9'8m/s \cdot 0'9$$

$$W_{Froz} = F_{roz} \cdot d$$

$$W_{Froz} = 1400kg \cdot 9'8m/s \cdot 0'9 \cdot 5m$$

$$W_{Froz} = 61740 J$$

A este trabajo de la fuerza de rozamiento se le debe de sumar la energía cinética que llevaba el vehículo en el momento del impacto para hallar finalmente la energía total del vehículo justo al accionar los frenos y comenzar el bloqueo:

$$E_{total} = E_{cin} + W_{Froz}$$

$$\begin{aligned} E_{cin} &= \frac{1}{2} \cdot M_A \cdot v_{PA}^2 = \frac{1}{2} \cdot 1400kg \cdot \left(\frac{27'94m}{s}\right)^2 \\ &= 546450'52 J \end{aligned}$$

$$E_{total} = 546450'52 J + 61740 J = 608190'52 J$$

Esta energía no es más que energía cinética pues el vehículo está en movimiento. Por lo tanto, despejamos la velocidad de A en el punto de decisión a partir de la siguiente fórmula:

$$E_{cin} = \frac{1}{2} \cdot M_A \cdot v_{AB,A}^2$$

$$v_{AB,A} = \sqrt{2 \cdot \frac{E_{cin}}{M_A}}$$

$$v_{AB,A} = 29'48 \frac{m}{s} = \mathbf{106'11 \text{ km/h}}$$

VEHÍCULO B

$$F_{roz} = P \cdot \mu_{corregido} = M_B \cdot g \cdot \mu_{corregido}$$

$$F_{roz} = 1310kg \cdot 9'8m/s \cdot 0'9$$

$$W_{Froz} = F_{roz} \cdot d$$

$$W_{Froz} = 1310kg \cdot 9'8m/s \cdot 0'9 \cdot 6m$$

$$W_{Froz} = 69325'2 \text{ J}$$

A este trabajo de la fuerza de rozamiento se debe sumar la energía cinética que llevaba el vehículo en el momento del impacto para hallar finalmente la energía total del vehículo justo al accionar los frenos y comenzar el bloqueo:

$$E_{total} = E_{cin} + W_{Froz}$$

$$E_{cin} = \frac{1}{2} \cdot M_A \cdot v_{PB}^2 = \frac{1}{2} \cdot 1310kg \cdot \left(\frac{6'93m}{s}\right)^2 = 27929'79 J$$

$$E_{total} = 27929'79 J + 69325'2 J = 97254'99 J$$

Esta energía no es más que energía cinética pues el vehículo está en movimiento. Por lo tanto, se despeja la velocidad de A en el punto de decisión a partir de la siguiente fórmula:

$$E_{cin} = \frac{1}{2} \cdot M_B \cdot v_{AB,B}^2$$

$$v_{AB,B} = \sqrt{2 \cdot \frac{E_{cin}}{M_B}}$$

$$v_{AB,B} = 12'18 \frac{m}{s} = \mathbf{43'87 km/h}$$

A la velocidad antes calculada, hay que añadir la velocidad perdida por la deceleración debida a la frenada previa al bloqueo de ruedas:

$$v_{IA} = v_{AB,A} + a \cdot t$$

$$v_{IB} = v_{AB,B} + a \cdot t$$

Para la aceleración "a" debido a la frenada previa al bloqueo de ruedas se adopta un valor media de $1/2 \cdot g \cdot \mu$. El valor "t" de tiempo de respuesta del sistema de frenado en condiciones óptimas puede considerarse igual a 0'25s.

VEHÍCULO A

$$v_{IA} = \frac{29'48 \text{ m}}{s} + \frac{1}{2} \cdot \frac{9'8m}{s^2} \cdot 0'9 \cdot 0'25s = \frac{30'58m}{s} = \mathbf{110km/h}$$

VEHÍCULO B

$$v_{IB} = \frac{12'18 \text{ m}}{s} + \frac{1}{2} \cdot \frac{9'8m}{s^2} \cdot 0'9 \cdot 0'25s = \frac{13'28m}{s} = \mathbf{47'82km/h}$$

Por último, haciendo uso de la ecuación del movimiento rectilíneo uniformemente acelerado es posible calcular la distancia recorrida en los 0'25s de frenada prebloqueo de ruedas.

$$s = v_i \cdot t - 1/2 \cdot a \cdot t^2$$

VEHÍCULO A

$$s = \frac{30'58m}{s} \cdot 0'25s - \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{9'8m}{s^2} \cdot 0'9 \cdot (0'25s)^2 = 7'51m$$

VEHÍCULO B

$$s = \frac{12'18m}{s} \cdot 0'25s - \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{9'8m}{s^2} \cdot 0'9 \cdot (0'25s)^2 = 2'91m$$

A esta distancia se debe sumar la recorrida desde que el conductor percibe la amenaza hasta que se accionan los frenos, que tiene como media una duración de 1s.

$$s = v \cdot t$$

VEHÍCULO A

$$s = \frac{30'58m}{s} \cdot 1s = 30'58m$$

VEHÍCULO B

$$s = \frac{12'18m}{s} \cdot 1s = 12'18m$$

Sumando todas las distancias conocidas se obtiene la distancia desde el PPR al PC de ambos vehículos:

VEHÍCULO A

$s = 5m + 7'51m + 30'58m = \mathbf{43'09m}$

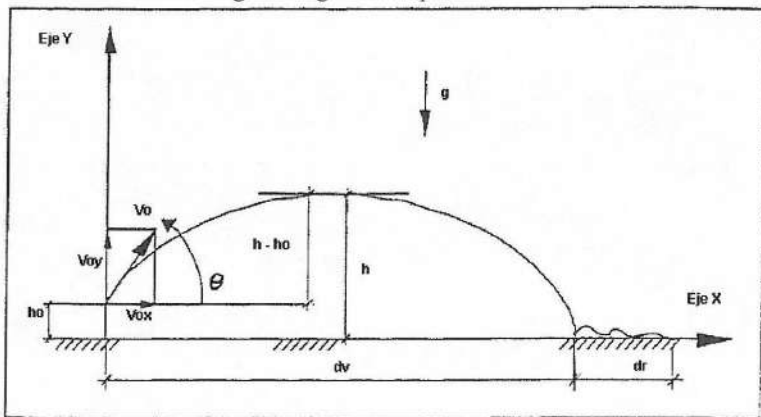
VEHÍCULO B

$s = 6m + 2'91m + 12'18m = \mathbf{22'09m}$

EJEMPLO 4: Atropello

4.1. Un vehículo que circula sobre una carretera de asfalto impacta contra un peatón adulto. El peatón vuela una distancia, impacta contra el suelo y, a continuación, desliza hasta alcanzar su posición final, tal como indica el siguiente esquema:

Sabiendo que la posición final del peatón es de 18m desde el lugar del impacto, calcule la velocidad del vehículo al atropellar al peatón.



Datos: coeficiente de rozamiento del peatón contra el asfalto: $\mu=0'6$

Solución:

Se hará uso del método de Appel-Searle para determinar la velocidad del vehículo en el momento del atropello.

$$v = \frac{\sqrt{2 \cdot \mu \cdot g \cdot (d_t - \mu \cdot H)}}{(1 + \mu^2)}$$

Donde d_t es la distancia de vuelo más deslizamiento ($d_t = d_v + d_r = 18m$) y H es la distancia desde la calzada al centro de gravedad del peatón, que se considera igual a 1m.

$$v = \frac{\sqrt{2 \cdot 0'6 \cdot 9'8m/s^2 \cdot (18m - 0'6 \cdot 1m)}}{(1 + 0'6^2)} = 10'52m/s$$

A continuación se calcula la velocidad de proyección corregida haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$v_{\text{proyección corregida}} = v + \text{porcentaje de disminución}$$

En este caso, el porcentaje a aplicar a un coeficiente de rozamiento de 0'6 es del 4'9%:

$$v_{\text{proyección corregida}} = 10,52 - \left(\frac{10,52 \cdot 4'9}{100} \right) = 10'00 \text{ m/s}$$

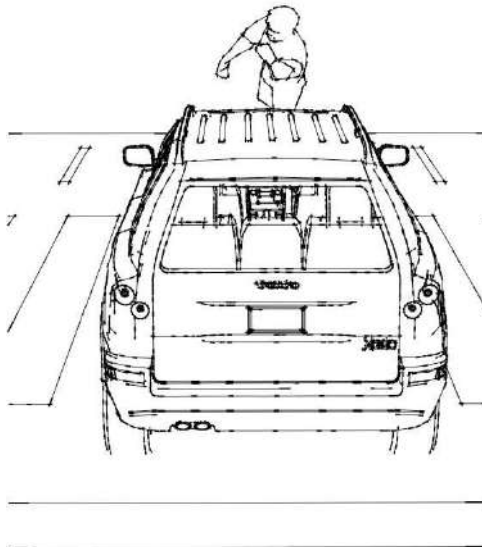
Según el procedimiento de Searle, la velocidad del vehículo al atropellar a un peatón adulto es un 20% superior a la velocidad de proyección corregida del peatón:

$$V_{\text{vehículo al atropellar al peatón}} = v_{\text{proyección corregida}} + 0'2 \cdot v_{\text{proyección corregida}}$$

$$V_{\text{vehículo al atropellar al peatón}} = 10'00 + (0'2 \cdot 10'00)$$

$$V_{\text{vehículo al atropellar al peatón}} = 12'00 \text{ m/s}$$

$$V_{\text{vehículo al atropellar al peatón}} = 43'2 \text{ Km/h}$$



4.2. Un vehículo que circula sobre una carretera de asfalto con peralte positivo del 7% impacta contra un peatón de 7 años de edad en las mismas condiciones que el apartado anterior. Calcule la velocidad del vehículo al atropellar al peatón, suponiendo hipótesis favorable al conductor del vehículo.

***Datos:* considere el coeficiente de rozamiento del peatón contra el asfalto: $\mu=0'6$**

Solución:

Se hará uso del método de Appel-Searle para determinar la velocidad del vehículo en el momento del atropello.

$$v = \frac{\sqrt{2 \cdot \mu \cdot g \cdot (d_t - \mu \cdot H)}}{(1 + \mu^2)}$$

Donde d_t es la distancia de vuelo más deslizamiento ($d_t = d_v + d_r = 18m$) y H es la distancia desde la calzada al centro de gravedad del peatón, que se considera igual a 1m.

Además μ debe ser corregido debido a la inclinación del terreno:

$$\mu_{corregido} = \mu + \text{inclinación (rampa y peralte positivo)}$$

$$\mu_{corregido} = 0'6 + 0'07 = 0'67$$

$$v = \frac{\sqrt{2 \cdot 0'67 \cdot 9'8 m/s^2 \cdot (18m - 0'67 \cdot 1m)}}{(1 + 0'67^2)} = 10'4 m/s$$

A continuación se calcula la velocidad de proyección corregida haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$v_{\text{proyección corregida}} = v - \text{porcentaje de disminución}$$

En este caso, el porcentaje de aplicar a un coeficiente de rozamiento de 0'6 es del 4'9%:

$$v_{\text{proyección corregida}} = 10,4 - \left(\frac{10,4 \cdot 4,9}{100} \right) = 9,89 \text{ m/s}$$

Según Searle, la velocidad del vehículo al atropellar a un peatón infantil es un 10% superior a la velocidad de proyección corregida del peatón:

$$V_{\text{vehículo al atropellar al peatón}} = v_{\text{proyección corregida}} + 0'1 \cdot v_{\text{proyección corregida}}$$

$$V_{\text{vehículo al atropellar al peatón}} = 9,89 + (0,1 \cdot 9,89)$$

$$V_{\text{vehículo al atropellar al peatón}} = 10,88 \text{ m/s}$$

$V_{\text{vehículo al atropellar al peatón}} = 39,17 \text{ Km/h}$
--

BIBLIOGRAFÍA

- Manual Básico de Investigación y Reconstrucción. J.J. Alba, J.Monclús, A. Iglesia. Madrid 2006.
- Manual de Reconstrucción de Accidentes de Tráfico. Cevimap. 2006.
- Apuntes del Curso de Perfeccionamiento en Investigación de Accidentes de Tráfico de Guardia Civil. Mérida, 2008.
- Apuntes del Curso de Reconstrucción de Accidentes de Tráfico de Cevimap. Sevilla, 2009

