CALCULO DE LA VELOCIDAD EN LA INVESTIGACION DE ACCIDENTES DE TRAFICO

TOMAS MUÑOZ GUZMAN
Especialista en investigación y reconstrucción de Accidentes de Tráfico

CÁLCULO DE LA VELOCIDAD EN LA INVESTIGACIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁFICO

Ninguna parte de este libro, incluido el diseño de la portada, puede ser reproducido total o parcial mediante fotocopia o cualquier otro procedimiento incluido el tratamiento informático, quedando, igualmente, prohibido la distribución de ejemplares mediante alquiler o préstamo público, sin la previa autorización por escrito del autor.

.

Diseño de la cubierta: Javier Álvarez Rodríguez
© Tomás Muñoz Guzmán, 2007
Edición, composición e impresión: el autor
Encuadernación Asociación de personas con discapacidad "Virgen del Pilar", Plaza.de España, 6, Tel: 974 47 06 17 , (22520) Fraga (Huesca).
www/expomedio.com/obs/amipilar
ISBN: 84-611-8072-1
Depósito legal: L-883-2007
Primera edición: Junio 2007
Printed in Spain – Impreso en España

Pedidos al autor:
Tel: 974 47 25 35
E-mail: Calculodevelocidad@ hotmail.com

La reproducciones realizadas, en este libro, se han efectuado acogiéndose, el autor, al derecho de cita previsto en el artículo 32 de la ley de la Propiedad Intelectual (Real Decreto legislativo 1/1996 de 12 de Abril.)

El automóvil no es un arma peligrosa hasta que empieza a ser manejado por la persona que se sitúa frente a su volante.

Dr. John Henderson[1]

---

[1] *Guía médica de urgencias,* página 200, editorial Bruguera S.A., Barcelona,1974

INDICE

PÁGINA

PRESENTACION. 1

CAPITULO 1.
MEDIDAS Y MAGNITUDES FISICA. 3
1.1.- La medida. 3
1.2.- Sistema de unidades. 3
1.3.- Carácter aproximado de las mediciones. 3
1.4.- Errores en las mediciones. 4
1.5.- Magnitudes escalares 4
1.6.- Magnitudes vectoriales 4
1.7.- Representación de un vector 5
1.8.- Suma de vectores 5

CAPITULO 2
LA CINEMATICA 7
2.1.- La cinemática. 7
2.2.- Concepto de movimiento. 7
2.3.- Clasificación de los movimientos. 7
2.4.- Movimiento uniforme. 7
2.5.- Movimiento variado 8
2.6.- Movimiento uniformemente acelerado. 8
2.7.- Movimiento uniformemente decelerado. 12

CAPITULO 3
LA DINAMICA 13
3.1.- La dinámica. 13
3.2.- Leyes fundamentales de la dinámica. 13
3.3.- Unidades de fuerza. 15

PAGINA

3.4.- Elemento de una fuerza. 15
3.5.- Descomposición de fuerzas. 16
3.6.- Fuerza centrifuga. 17
3.7.- Fuerza centrípeta. 20
3.8.- Fuerza de la gravedad. 20
3.9.- Cómo determinar el centro de gravedad de un vehículo. 21
3.10.- Fuerza de la gravedad en el movimiento parabólico. 22

CAPITULO 4
TRABAJO Y ENERGIA 27
4.1.- Trabajo mecánico. 27
4.2.- Concepto de energía. 28
4.3.- Energía cinética 29
4.4.- Energía potencial 29
4.5.- Principio de la conservación de la energía . . 31
4.6.- Energía de rozamiento 31
4.7.- Tabla con coeficientes de adherencia 33
4.8.- Tabla con coeficiente de adherencia neumáticos de camión 34
4.9.- Tabla con otros coeficientes de rozamiento. . 34

CAPITULO 5
FIRMES Y PAVIMENTOS 35
5.1.- Firme. 35
5.2.- Clases de firmes 35
5.2,.1.- Firmes rígidos. 35
5.2.2.- Firmes flexibles. 35
5.2.3.- Firmes adoquinados 36
5.3.- Capas del firme 36
5.3.1.- Subbase 36

PAGINA

5.3.2.- Base. 36
5.3.3.- Pavimento 36
5.4.- Tratamiento del firme flexible 36
5.4,1.- Zona superficial. 36
5.4.2.- Lechadas bituminosas (slurry) 37
5.4.3.- Aglomerados en frío 37
5.4.4.- Aglomerados en caliente. 37
5.5.- Clases de firmes flexibles 37
5.5.1.- Tráfico ligero. 37
5.5.2.- Tráfico medio. 38
5.5.3.- Tráfico pesado 38

CAPITULO 6
NEUMATICOS 39
6.1.- Neumáticos 39
6.2.- El neumático más utilizado 39
6.3.-Elementos de la estructura de un neumático. 39
6.3.1.-Banda de rodamiento 40
6.3.2.- Flancos 40
6.3.3.- Talón 40
6.4.- Esfuerzos soportado por un neumático 40
6.5.- Interpretación de las inscripciones en un neumatico. 41
6.6.- Indice de velocidad 41
6.7.- Indice de carga de un neumático 42
6.8.- Los neumáticos nuevos siempre detrás . . . 42
6.9.- Desgaste y deterioros de los neumáticos . . 42

CAPITULO 7
FRENOS 45
7.1.- Frenos 45

PAGINA

7.2.- Frenos hidráulicos 45
7.2.1.- Freno de disco 46
7.2.2.- Frenos de tambor 46
7.2.3.- Frenos neumáticos 47
7.2.4.- Frenos eléctricos 48
7.2.5.- Frenos hidrodinámicos. 48
7.2.6.- Freno del motor 49
7.2.7.- Frenos antibloqueo (ABS). 49
7.3.- Eficacia de los frenos 50
7.4.- Rendimiento de los frenos 50

CAPITULO 8
CANTIDAD DE MOVIMIENTO. 53
8.1.- Cantidad de movimiento. 53
8.2.- Principio de la conservación de la cantidad de movimiento 53
8.3.- Choque. 54
8.3.1.- Choques elásticos. 54
8.3.2.- Choques inelásticos. 54
8.4.- Trigonometría práctica 54
8.5.- Medidas de los arcos 55
8.6.- Colisión en una intersección 56
8.7.- Colisión por alcance. 65
8.8.- Colisión frontal 67

CAPITULO 9
ATROPELLOS 71
9.1.- Atropello a peatones y a ciclistas 71
9.2.- Tablas de correción 72
9.3.- Caso práctico atropello a peatón 74
9.4.- Caso práctico atropello a ciclista 77

PAGINA

CAPITULO 10
ANALISIS DE LAS DEFORMACIONES 79
10.1.- Cálculo de la velocidad 79
10.2.- Material básico para efectuar las mediciones. 80
10.3.- Forma de realizar las mediciones de la zona deformada. 80
10.3.1.-Medición de la deformación de la zona frontal 81
10.3.2.- Medición de la deformación de la zona posterior 82
10.3.3.-Mediciones de la deformación lateral . . 83
10.3.4.-Colisiones angulares. 83
10.4.- Fórmulas para aplicar según el número de mediciones. 84
10.5.- Tabla de valores coeficientes A y B 85
10.6.- Método analítico de Ruldof Limpert. 89

CAPITULO 11
HUELLAS DE DERRAPE. 91
11.1.- Cálculo de la velocidad. 91

CONCLUSIONES. 95

APENDICE. 97
Fórmulas utilizadas para el cálculo de velocidad. 97- 98
Datos a tomar estudio deformaciones vehículo… 99
Índice de carga que puede soportar un neumático 100

BIBLIOGRAFIA. 101

VALORACION. 104

PRESENTACION

El accidente de tráfico es un suceso fortuito, que se produce como consecuencia de la circulación de vehículos, por una vía pública, causando muertes, lesiones o sólo daños materiales. En su desarrollo intervienen dos causas fundamentales: mediatas e inmediatas.

Las mediatas: son las que no dan lugar al accidente pero conducen a él; pueden ser: relativas al vehículo, a la carretera, a los fenómenos atmosféricos, al conductor o a otras circunstancias ajenas a éstas.
Las inmediatas: son las que intervienen directamente en desarrollo del accidente; siendo las más frecuentes: infracción al Reglamento General de Circulación, deficiencia en la percepción, errores en la evasión, condiciones negativas u otras.

La que está aceptada, mundialmente, como primera causa del origen de los accidentes de tráfico es la velocidad; en algunas ocasiones por ser excesiva y en otras por inadecuada. Por ello en la reconstrucción de accidentes, es importante realizar un cálculo de la velocidad que llevaban los vehículos implicados, para poder determinar el grado de responsabilidad de sus conductores.

Para confeccionar, dicho estudio, se tendrá en cuenta las fuerzas que intervinieron sobre los automóviles y sus ocupantes, como la dinámica y la cinemática; ramas de la física que se recoge en este manual de forma clara y sencilla;

para que el profesional que se dedica a la investigación de accidentes de tráfico, que no posea unos conocimientos profundos de física, le permita determinar la velocidad que llevaban los vehículos intervinientes en el siniestro.

No ha sido mi intención de hacer un manual de corte científico, por carecer de dicha formación, más bien la de reflejar unos conocimientos adquiridos en los veinticinco años dedicados a la investigación y reconstrucción de accidentes de tráfico.

Igualmente quedaría muy agradecido que me informaran de cualquier error que se observe en este trabajo, al objeto de ser subsanado en otra edición.

Muchas gracias.

EL AUTOR.

CAPITULO 1

MEDIDAS Y MAGNITUDES FISICAS

1.1.- La medida: Desde la antigüedad ha existido la necesidad de medir utilizándose, según los lugares, distintas unidades de medidas ; para evitar confusiones se han establecido unas series de unidades patrones, aprobadas en el año 1960 en la Confederación Internacional de pesas y Medidas, denominadas unidades SI (Sistema Internacional de Unidades) siendo las básicas, las siguientes:

Magnitud	**Nombre**	**Símbolo**
Longitud	Metro	M
Masa	Kilo	Kg.
Tiempo	Segundo	s
Intensidad de corriente	Amperio	A
Temperatura termodinámica	Grado kelvin	K
Cantidad de materia	Mol	Mol
Intensidad luminosa	Candela	cd

1.2.- Sistema de unidades: En mecánica existen tres sistemas de unidades reconocidos:

SI	**Longitud**	**Masa**	**Tiempo**	**Fuerza**
Internacional o Giorgi	metro	Kilogramo	Segundo	- -
Cegesimal	Centímetro	Gramo	Segundo	- -
Técnico	Metro	- -	Segundo	kilopondio

1.3.- Carácter aproximado de las mediciones: En algunas ocasiones al realizar una medición, no se puede efectuar con exactitud, por ejemplo: si medimos la profundidad de un terraplén con una cinta métrica y nos da un resultado de 8,40

metros y observamos que la cinta está ligeramente destensada tal vez por no llegar hasta el final del desnivel irregular, no debemos afirmar que la profundidad es de 8,40 metros, porque cometeríamos un error por defecto; ni tampoco que es de 8,50 metros, pues, incurríamos en un error por exceso. En este supuesto se aceptaría la medición de 8,40 metros, pero existiendo un margen de duda de 10 centímetros por exceso o por defecto.

1.4.- Errores de medidas: Existen dos clases de errores al efectuar una medición: absoluto y relativo.
Error absoluto: Es la diferencia entre la medida exacta y la obtenida en la medición, por ejemplo: si medimos una carretera de 7,00 metros de anchura y medimos 8 metros se ha cometido un error absoluto de 1,00 metro.
Error relativo: Es el cociente entre el valor absoluto y el valor exacto de la medición, ejemplo:
Error absoluto. 1 metro dividido por la anchura de la carretera, 7 metros, nos da 0,14.
Para obtener el error relativo en tanto por cien, multiplicamos 0,14 por 100 y el resultado es 14% de error relativo.

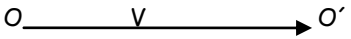
1.5.- Magnitudes escalares: Queda determinada por el número que expresa su medida, ejemplo

40 kilos

1.6.-Magnitudes vectoriales: Es la que precisa que se indique la dirección y sentido en el espacio, recibiendo cel nombre de vectores, ejemplo

Velocidad, fuerza, aceleración, etc.

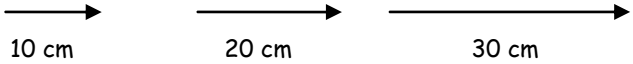
1.7.- Representación de un vector: Un vector se representa por medio de un segmento en forma aflechada.



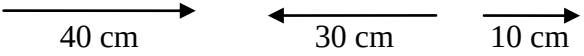
(fig. 1)

O .- Origen o punto de aplicación del vector.
V .- Dirección, horizontal o vertical
OO´ Intensidad o longitud del vector
O´.- sentido.

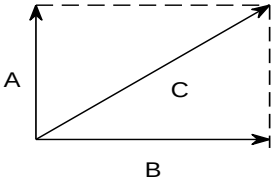
1.8.- Suma de vectores: *a.-)* Dos vectores de la misma dirección y sentido, el resultante es igual a la suma de los dos.



b.-) Dos vectores de la misma dirección y sentido opuesto, el resultante es igual a la diferencia de los dos y del sentido del mayor.

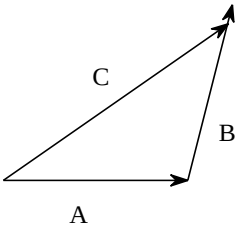


c.-) Dos vectores de distinta dirección, el resultante de la suma, es la diagonal del paralelogramo, creado por los dos vectores como lado;
Veámoslo a continuación.



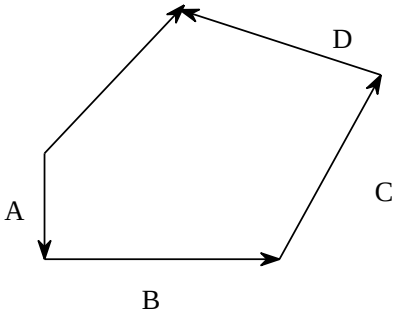
A (10 cm) + B (20 cm) = C (30 cm)

A medida que aumenta el ángulo que forma las dos fuerzas concurrentes, la intensidad de la resultante (c) es menor; en ocasiones las fuerzas concurrentes pueden ser de una a continuación de la otra, ejemplo.



A+ B = C

O también de más de dos fuerzas



A+ B + C + D = E

CAPITULO 2

LA CINEMATICA

2.1.- La cinemática: Es la parte de la física que estudia el movimiento.

2.2.- Concepto de movimiento: Un cuerpo se mueve cuando varía su posición o distancia respecto a otro que se encuentra fijo. Los puntos que dicho móvil recorre, en su desplazamiento, recibe el nombre de trayectoria y con arreglo a su forma pueden ser: *rectilíneo o curvilíneo.*

2.3.- Clasificación de los movimientos: Los movimientos se clasifican en : *uniforme y variado.*

2.4.- Movimiento uniforme: Un móvil lleva movimiento uniforme cuando recorre espacios iguales en tiempo iguales, quedando determinado por la siguiente fórmula:

$$\mathbf{e = v \times t}$$

e : espacio
v : velocidad
t : tiempo

La velocidad se obtiene dividiendo el espacio recorrido por el móvil por el tiempo que ha tardado en recorrerlo.

$$\mathbf{v = e / t}$$

Y el tiempo se halla dividiendo el espacio recorrido por la velocidad que llevaba el móvil.

$$\boxed{t = e / v}$$

La velocidad viene expresada por una unidad de longitud que puede ser el kilómetro (Km) o el metro (m) y por otra de tiempo la hora (h) o el segundo (s)

$$\boxed{1 \text{ m/s} = 3{,}6 \text{ km/h.}}$$

Para pasar de **m/s** a **km/h**, se multiplica los m/s por 3,6 y para pasarlo a km/h, se divide los km/h, por 3,6

Ejemplo práctico: *Un turismo recorre 160 kilómetros en 1 hora 30 minutos, calcular su velocidad media.*
Aplicamos la fórmula: v = e / t
Datos:
e = 160 km/h = 160.000 metros.
t = 1 hora 30 minutos = 5.400 segundos
Sustituyendo en la fórmula:

$$v = \frac{160.000 \text{ m}}{5.400 \text{ s}} =$$

$$\boxed{v = 29{,}62 \text{ m/s}}$$

La velocidad media del turismo era 29,62 m/s x 3,6 = **107 km/h.**

2.5.- Movimiento variado: En todo movimiento cuya velocidad no permanece constante cuando si lo es, el movimiento se denomina: *uniformemente variado*. Esta variación de velocidad, recibe el nombre de *aceleración*. Cuando la velocidad aumenta una cantidad constante el movimiento es *uniforme acelerado*, aceleración positiva (+).

Cuando la velocidad disminuye una cantidad constante, el movimiento es *uniformemente retardado o decelerado*, aceleración negativa (-)

La unidad de aceleración en el sistema internacional de medidas es: **m/s²**

2.6.- Movimiento uniformemente acelerado: Un móvil lleva movimiento uniformemente acelerado, cuando su aceleración es constante.
La ecuación del movimiento uniformemente acelerado sin velocidad inicial, es:

v = a x t

v = velocidad
a = aceleración
t = tiempo

Si deseamos hallar la aceleración

a = v / t

Si queremos conocer el tiempo

t = v / a

Ejemplo práctico: Un turismo partiendo de reposo alcanza la velocidad de 100 km/h, en 8 segundos ¿Cuál es su aceleración?

Aplicamos la fórmula de a = v / t
Datos conocidos: V = 100 km/h = 27,77 m/s
t = 8 segundos
Sustituyendo en la fórmula

$$a = \frac{27,77}{} = 3,47 \text{ m/s}^2$$

Si el móvil partiera con velocidad inicial, su fórmula sería:

$$\mathbf{v = V_0 \pm a \cdot t}$$

v : Velocidad final m/s.
vo : Velocidad del móvil en instante que comienza su aceleración.
a : En m/s; al figura el signo (+) se trata de una aceleración; de estar el signo (–)sería deceleración.
t : tiempo.

Despejando la siguiente fórmula conoceremos los siguientes conceptos:
1.- Vo: Velocidad del móvil al iniciar su aceleración.

$$\mathbf{V_o = v \pm a \cdot t}$$

2.- a : Aceleración o deceleración

$$\mathbf{a = \frac{v \pm v_o}{t}}$$

3.- t : tiempo

$$\mathbf{t = \frac{v \pm v_o}{a}}$$

Pero si lo deseamos conocer es el espacio que recorre un móvil en el movimiento acelerado, debemos aplicar la siguiente fórmula

$$e = vo \bullet t \pm \tfrac{1}{2}\, a \bullet t^2$$

Esta ecuación queda simplificada si el móvil partiera de reposo

$$e = \tfrac{1}{2}\, a \bullet t^2$$

Si queremos conocer la velocidad en función del espacio e independiente del tiempo, tendremos:

$$t = v / a$$

Si sustituimos el valor de t^2, nos quedaría:

$$e = \tfrac{1}{2}\, a \bullet v^2 / a^2 = \tfrac{1}{2}\, v^2 / a$$

La fórmula de la velocidad sería:

$$\mathbf{v = \sqrt{2 \bullet a \bullet e}}$$

El espacio:

$$e = v^2 / 2 \bullet a$$

La aceleración:

$$a = v^2 / 2 \bullet e$$

Ejemplo práctico: *Un turismo circula a 90 km/h, por una carretera con un coeficiente de adherencia, entre neumático y asfalto según tabla que más adelante veremos, de 0,7. Su conductor, ante una situación de peligro utiliza el sistema de frenado ¿Qué distancia recorre el vehículo hasta su detención?*

Aplicamos la fórmula: $\mathbf{e = v^2 \bullet a}$

Datos conocidos: v: 90 km/h = 25 m/s.

a: aceleración, igual al coeficiente de adherencia (μ) por la gravedad (g)
μ: 0,7
g: 9,81 m/s²

$$e = \frac{25^2}{2 \times 0{,}7 \times 9{,}81} = 45{,}52 \text{ metros.}$$

2.7.- Movimiento uniformemente decelerado: Se utiliza para hallar dicho movimiento, la misma fórmula que para el movimiento acelerado, cambiando el signo (+) por el signo (–)

Ejemplo práctico: *Un turismo circula a 90 km/h., su conductor, al observar a un camión detenido en su carril frena bruscamente, originándose una deceleración de 6,87 m/s y tardando 3 segundos en detenerse el turismo, no produciéndose el choque. Interesa conocer la distancia que se encontraba el turismo del camión.*

Aplicamos la fórmula: $e = vo \bullet t - \frac{1}{2} a \bullet t^2$

Datos conocidos:
Vo: 90 km/h = 25 m/s
t : 3 s
a = 6,87 m/s

Sustituyendo la formula

$e = 25 \bullet 3 - \frac{1}{2} \bullet 6{,}87 \bullet 3^2 = 44{,}09$ metros.

CAPITULO 3

LA DINAMICA

3.1.- La dinámica: Parte de la mecánica que tiene por objeto el estudio de las fuerzas que actúan sobre los cuerpos.

3.2.-Leyes fundamentales de la mecánica: En la reconstrucción de accidentes de tráfico se debe tener presente las tres leyes fundamentales de la dinámica, que formuló Newton.

Primera: ***Ley de la inercia:*** Un cuerpo permanecerá en estado de reposo o con movimiento rectilíneo y uniforme mientras no actúen sobre ellos ninguna fuerza exterior

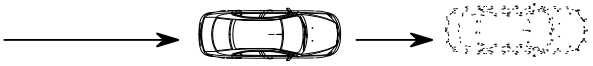
$$\mathbf{Fi = m \times a}$$

La fuerza de la inercia es proporcional a la masa por la aceleración.

Este principio físico se observa mejor cuando se viaja en un autobús de servicio urbano, especialmente de pie. Al acelerar el vehículo, los pasajeros experimentan una fuerza hacia atrás y hacia delante al frenar ; según sea la velocidad será más o menos violenta dicha fuerza. Igualmente en un vehículo que transporta mercancía la carga experimentará un desplazamiento, alterando el centro de gravedad del automóvil más adelante se estudiará como se calcula dicho

centro, creando una inestabilidad en el mismo, pudiendo llegar al vuelco.

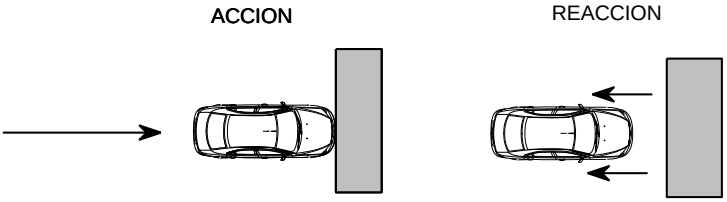
Segunda: ***Ley de la dinámica:*** La variación de cantidad de movimiento es proporcional a la fuerza externa que lo origina y produce un desplazamiento en dirección a la fuerza en la que actúa. Es muy importante esta ley en la reconstrucción de accidentes de tráfico, pues, nos aclara la energía que provocó el desplazamiento, así como. La intensidad y dirección de la fuerza.



(FIG 2)

El vehículo se hallaba en reposo y al aplicarle una fuerza en su parte posterior realiza un desplazamiento hacia delante.

Tercera: ***Ley de interacción*** : Cuando un automóvil choca contra un obstáculo (*acción)* se origina otra fuerza igual, pero de sentido contrario (*reacción)*



(FIG 3)

3.3.- Unidades de fuerza: En el sistema internacional la unidad de fuerza es el *newton (N).* El newton, es la fuerza que aplicada a un cuerpo de 1 kilo de peso le proporciona una aceleración de 1 m/s².

3.4.- Elementos de una fuerza: Son cuatro: punto de aplicación, dirección, sentido e intensidad.

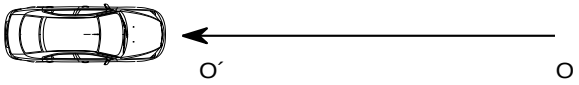


FIG 4

- Punto de aplicación: El origen del vector (O)
- Dirección: (O O´)
- Sentido: la flecha lo indica.
- Intensidad: la longitud del vector.

Si la fuerza actúa sobre el centro de gravedad del vehículo, figura 4, este experimentará un desplazamiento, en este caso hacia atrás.
Pero si la fuerza no paso por el centro de gravedad, figura 5

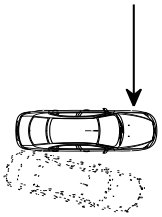


FIG 5

El vehículo además del desplazamiento realizará un giro; en este supuesto al seguir el sentido de las agujas del reloj, se dice que el giro es negativo.
Cuando es en dirección contraria, figura 6, el giro es positivo.

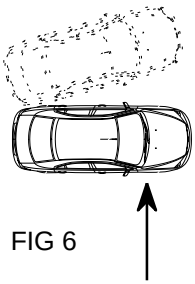
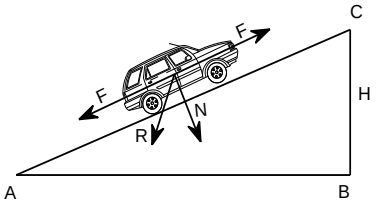


FIG 6

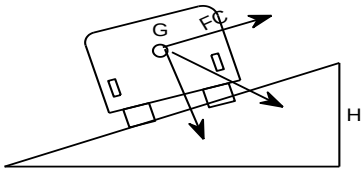
3.5.- Descomposición de fuerzas: Es sustituir la fuerza por sus componentes. Donde se aprecia mejor es en los tramos de carretera con rampa (subida) o pendiente (bajada) al formar un plano inclinado o triángulo rectángulo con la horizontal del trazado de la vía.



La hipotenusa AC representa al plano inclinado; el cateto BC, es la altura H y el cateto AB, la base. La resistencia (R) que es el peso del vehículo, se descompone en dos fuerzas: la

(N) que es normal al plano y mantiene al vehículo sobre el mismo; la (F) por la que el móvil tiende a resbalar por el plano; pero si oponemos otra fuerza (F´) entonces se crea un equilibrio y el vehículo se mantiene en dicha posición.
En la figura 4 el tramo es ascendente de un 8 por ciento, se escribirá + 8 % y si fuera descendente sería – 8 %.

3.6.- Fuerza centrifuga: Se presenta en el movimiento curvilíneo y tiende a separar a un móvil del centro de la curva saliéndose por la tangente; para evitar que suceda se levantan en las carreteras los peraltes, al objeto que la resultante de las dos fuerzas que actúan sobre el vehículo: gravedad y fuerza centrifuga sea normal al plano de la carretera.



(FIG. 5)

Fórmula de la fuerza centrifuga:

$$Fc = \frac{M \times V^2}{R}$$

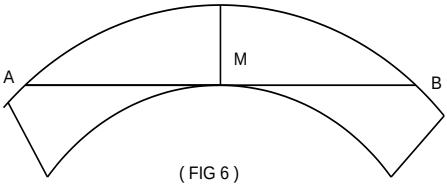
Fc: fuerza centrifuga en Newton (N)
M: masa del vehículo en kg.
V: velocidad en m/s
R: radio de la curva en metros.

Pero cuando el vehículo rebasa la velocidad para la cual está diseñada la curva es cuando se origina el derrape y la posterior salida de la vía Esta velocidad podemos saberla aplicando la fórmula:

$$V(km/h) = 11{,}3 \sqrt{\frac{R \cdot \mu + p}{1 - \mu \cdot p}}$$

11.3: constante fija.
R : radio de la curva en metros.
μ : coeficiente de adherencia entre el neumático y calzada.
p : peralte

¿Cómo se obtiene el radio de una curva?



(FIG 6)

AB: dos puntos de la carretera a medir, para obtener la cuerda en este supuesto es 40 metros.
M: es la ordenada media que se sitúa en el centro de la cuerda y se mide la distancia al borde exterior de la calzada. En este ejemplo son 6 metros.

Aplicando la fórmula:

$$R = \frac{C^2}{8M} + \frac{M}{2}$$

Utilizando los datos de la figura 6:

$$R = \frac{40^2}{8.6} + \frac{6}{2} = \frac{1.600}{48} + \frac{6}{2} = \frac{3.200 + 288}{96} = \frac{3.488}{96} = 36{,}33\text{m}$$

El grado de una curva es el número de grados del ángulo central, subtendido por un arco de 100 metros.

$$\frac{2\,\pi\,R \text{ (superficie de la circunferencia)}}{100} \text{ - - - - -- - - } \frac{360^{\circ}}{A}$$

$$A = \frac{360 \times 100}{2 \times 3{,}14} = \frac{36.000}{6{,}28} = 5.732\ R$$

Si los metros del radio deseamos pasarlo a grados

$$A = \frac{5.732}{36} = 159^{\circ}$$

Si se nos facilita los grados de la curva y queremos saber los metros de su radio.

$$A = \frac{5.732}{159} = 36 \text{ metros}$$

Ejemplo práctico: *Un turismo circula por una curva de 33 metros de radio, con un peralte del 5% y coeficiente de adherencia, entre neumáticos y calzada de 0,60,¿ A qué velocidad se originaría el derrape?.*

Aplicamos la formula:

$$V(\text{km/h}) = 11{,}3 \sqrt{R \,.\, \mu + p \;/\; 1 - \mu \,.\, p}$$

$$V = 11{,}3 \sqrt{33}\ \frac{0{,}60 + 0{,}05}{1 - 0{,}60.\ 0{,}05} = 11{,}3 \sqrt{33}\ \frac{0{,}65}{0.97} = 11{,}3 \sqrt{22} = 53 \text{ km/h.}$$

Pero cuando el vehículo rebasa la velocidad para la cual está diseñada la curva es cuando se origina el vuelco, esta velocidad podemos saberla aplicando la siguiente formula

$$V\ (km/h = 11{,}3 \sqrt{R\ \frac{p + \frac{n}{2h}}{1 - \frac{n}{2h}.\ p}}$$

n : vía del vehículo.
h : altura del centro de gravedad, a continuación se explica como se determina.

3.7.- Fuerza centrípeta: Tiende a traer al móvil hacia el centro de la curva.

3.8.- Fuerza de la gravedad: Es la fuerza que la Tierra atrae a todos los cuerpos. Newton, basándose en las leyes del astrónomo Kepler, formuló la ley de la gravitación universal, que enuncio:
La fuerza con la que se atraen los cuerpos es directamente proporcional al producto de su masa e inversamente proporcional al cuadrado de su distancia.
Esta atracción de la Tierra, sobre los cuerpos, tiene un valor de 9,81 metros por segundo al cuadrado. Y la fuerza con que dichos cuerpos son atraídos, se calcula con la fórmula:

$$\mathbf{P = M \times G}$$

P: peso en kg.
M: masa en kg.
G: gravedad (9,81 m/s^2)

Peso: Es la fuerza ejercida por la Tierra sobre un cuerpo a causa de la gravedad.
Masa: Es la cantidad de materia que posee un cuerpo.

3.9.- Cómo determinar el centro de gravedad de un vehículo: Es importante determinar el cetro de gravedad de un vehículo en una colisión, como se explicó en el apartado 3.4, porque es el punto donde se concentra el peso total del automóvil.
Ejemplo: Turismo marca Opel Vectra 17 TD

DATOS ITV	MMA	TARA	METROS
PRIMER EJE	860 KG.	-	-
SEGUNDO EJE	800 KG	-	-
TURISMO	1.660 KG	1.135 KG	-
BATALLA (B)	-	-	2,60

Otros datos calculados:

CARGA TRANSPORTADA	PESO APROXIMADO
CONDUCTOR	75 KG
PASAJEROS	-
EQUIPAJE	50 KG

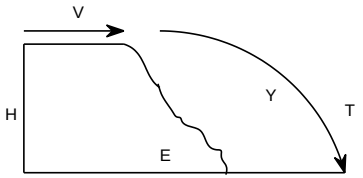
Peso en % que soporta el eje delantero (MMA)
860 : 1.660 = 52 %

Peso en % que soporta el eje trasero (MMA)
800 : 1.660 = 48 %

Peso estimado eje delantero: 52% de 1.135 (tara) = 590 kg
Peso estimado eje trasero : 48% de 1.135 = 545 kg
Peso total vehículo (PTV): 1.135 + 75 + 50 = 1.260 kg
Peso total eje trasero (PTET): 545 + 50 = 595 kg
Centro de gravedad(cdg) $= \frac{B \times PTET}{PTV}$; $\frac{2{,}60 \times 595}{1.260} = 1{,}22$
Distancia de la vertical al primer eje.

En los camiones y autobuses, dependen de la carga y de la altura; a mayor altura se eleva el centro de gravedad. Un camión cargado el centro de gravedad se sitúa aproximadamente en el centro de la caja.

3.10.-Fuerza de la gravedad en el movimiento parabólico:
En un accidente de tráfico nos podemos encontrar con casos de movimiento parabólico: la caída de un vehículo por un terraplén al salirse de la calzada; la proyección del conductor de una motocicleta, tras una colisión o la de un peatón al ser atropellado.
Veamos el primer supuesto:



(FIG. 7)

V: velocidad horizontal del móvil.
E: espacio recorrido, por el móvil, sobre la vertical.
H: altura del desnivel
T: tiempo transcurrido hasta la detención del móvil
Y: trayectoria parabólica.

El tiempo que tardaría en recorrer el móvil la trayectoria parabólica desde que cae por el desnivel hasta el suelo, se determina por la fórmula:

$$h = \frac{1}{2}\, g.\, t^2$$

Si deseamos conocer t:

$$t = \sqrt{\frac{2\,h}{g}}$$

De donde e :

$$e = v\sqrt{\frac{2\,h}{g}}$$

Si deseamos conocer la velocidad, que llevaba el móvil antes de la caída.

$$v = \frac{e}{\sqrt{\frac{2h}{g}}}$$

Ejemplo práctico: *Un turismo se sale de la calzada y vuela, literalmente, una distancia de 14 metros; siendo la altura del terraplén de 4 metros. Se interesa conocer la velocidad que llevaba el vehículo en el momento que se salió de la vía.*

Aplicamos la formula:

$$V = \frac{e}{\sqrt{\frac{2\,h}{g}}}$$

Datos conocidos:

e : 14 metros.
h : 4 metros.
g : 9,81 m/s²
Sustituyendo en la fórmula citada:
V = 14 / √ 2. 4/ 9,81 = 14/0,90 = 15,55 m/s = 56 km/h.

Al colisionar una motocicleta con un obstáculo, su conductor es lanzado, por la fuerza de la inercia, hacia arriba formando su cuerpo con la horizontal un ángulo α y describiendo en su recorrido una trayectoria parabólica; normalmente se toma un ángulo de 45º.

Para este supuesto se aplica la ecuación, que también es valida para los atropellos a peatones o a ciclistas.

$$e = \frac{vo^2 \cdot \operatorname{sen} 2\alpha}{g}$$

e : distancia recorrida
vo : velocidad de salida
seno 45º x 2 = seno de 90
seno de 90 = 1

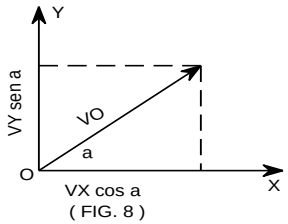
Ejemplo práctico: *En una intersección una motocicleta colisiona frontalmente contra el lateral de un turismo. El motorista sale proyectado la distancia de 40 metros. Se desea conocer la velocidad del motorista tras el choque.*

Aplicamos la fórmula:

$$e = \frac{vo^2 \cdot \operatorname{sen} 2\alpha}{g}$$

Datos conocidos:

e : 40 metros
seno 90 = 1
g: 9,81



(FIG. 8)

$40 = \frac{vo^2 \cdot 1}{9,81}$; vo = $\sqrt{40 \cdot 9,81}$ = 19,80 m/s velocidad de salida.

VY= Velocidad inicial del cuerpo del motorista, dirección eje Y
VX= Velocidad inicial del cuerpo del motorista, dirección al eje X

VY = 19,80 (velocidad de salida) x 0,70 (seno de 45º) = 13,86 m/s.
VX = 19,80 (ídem) x 0,70 (coseno de 45º) = 13,86 m/s

VR = Velocidad resultante = $\sqrt{Vx^2 + Vy^2}$

VR = $\sqrt{13,86^2 + 13,86^2}$ = $\sqrt{192,09 + 192,09}$ = $\sqrt{384,18}$ = 19,60 m/s = 70,56 km/h.

Velocidad mínima del motorista, al salir proyectado, inferior a la que circulaba la motocicleta en el momento de la colisión

Más adelante, en su correspondiente capítulo, se analizará otras formulas, de interés para la investigación y reconstrucción de accidentes de tráfico, en los casos de atropellos a ciclistas o a peatones.

CAPITULO 4

TRABAJO Y ENERGIA

4.1.- Trabajo mecánico: Cuando una fuerza actúa sobre un cuerpo y este se mueve, se dice que dicha fuerza ha realizado un trabajo y se define:

$$\mathbf{T = F \times E}$$

T : el trabajo medidos en julios (J)
F : la fuerza medida en newton (N)
E : el espacio medidos en metros (M)

En el sistema internacional la unidad de trabajo es el *julio*, que es el trabajo efectuado por una fuerza de 1 newton al desplazarse 1 metro en su misma dirección.

$$\mathbf{1\ J = 1\ N \times 1\ m}$$

En el sistema técnico, que en algunas ocasiones se utiliza, la unidad de trabajo es el *kilográmetro* o *kilopondímetro*, que es el trabajo realizado cuando elevamos 1 kilo de peso a 1 metro de altura. Su relación con el *julio* es:

$$\mathbf{1\ kgm = 9{,}81\ julios}$$

Ejemplo práctico: *Si elevamos un cuerpo que pesa 20 kilos a una altura de 10 metros, ¿qué trabajo se ha realizado?*

20 kilos x 10 metros = 200 kilográmetro o kilopondímetros,

Cuando un vehículo circula, debido a la fuerza motriz que le proporciona su motor, en una dirección y dicha fuerza tiene el mismo sentido se dice que el trabajo es positivo; pero si el conductor, al alcanzar el vehículo una velocidad, utilizara el sistema de frenado para pararlo esta fuerza aplicada, sería negativa

Ejemplo práctico: *Un turismo averiado, por agarrotamiento de los frenos, en un tramo de carretera recto a nivel, es remolcado, por otro automóvil, con ayuda de una sirga hasta una explanada distante 5 metros; para ello aplicamos una fuerza de 200 newton en la dirección y sentido del movimiento, actuando sobre el citado turismo una fuerza de rozamiento al estar los neumáticos frenados de 50 newton. Interesa conocer el trabajo de dichas fuerzas.*

Aplicamos la formula: T = F x E
Datos conocidos:
Fuerza ejercida por la sirga: 200 newton (N) sería positiva.
Fuerza de rozamiento 50 N, sería negativa.
Distancia de desplazamiento: 5 metros.

Fuerza ejercida en el remolcado: T = 200 x 5 = 1.000 julios (J)
Fuerza ejercida por el rozamiento: T = - 50 x 5 = 250 J.

4.2.- Concepto de energía: Se dice que un cuerpo posee energía cuando es capaz de realizar un trabajo. La energía no es como la materia que se puede ver y tocar; pero si es fácil saber cuando un cuerpo carece de ella. Si una grúa es capaz de remolcar a un camión de 20 toneladas métricas, decimos que esa grúa tiene energía y si no fuera capaz diríamos que carece de energía para la realización de dicho trabajo.

Según esté el cuerpo en movimiento o en reposo, la energía puede ser: cinética o potencial

4.3.- Energía cinética: Es la energía que posee un cuerpo en movimiento y produce una fuerza de empuje que es la causante de los desperfectos en las colisiones. Su fórmula es:

$$\mathbf{Ec = \frac{1}{2} . m. v^2}$$

Ec: energía cinética.
m : masa.
v : velocidad medida en m/s.

Conocer la energía cinética o fuerza viva que poseía un vehículo implicado en un accidente de tráfico es muy importante para la reconstrucción del mismo. Esta energía es difícil de concebir si no se recurre, como elemento comparativo, a la energía potencial.

4.4.- Energía potencial: Es la energía que tiene un cuerpo debido a su posición respecto a la superficie terrestre.
Formulación:

$$\mathbf{Ep = m . g . h}$$

Ep: energía potencial, medida en julios.
m : masa de un cuerpo, en kilos.
g : aceleración de la gravedad 9,81 m/s^2
h : altura en la que se halla el cuerpo, en metros.

Ejercicio práctico: *Un cuerpo de 900 kilos de peso cae desde una altura de 20 metros ¿Qué energía potencial posee dicho cuerpo?*

Datos conocidos:

m : 900 kg.
g : aceleración de la gravedad 9,81 m/s²
h : altura 20 metros.

Aplicamos la fórmula: Ep = m . g . h
Ep = 900 . 9,81 . 20 = 176,580 julios.

Como se ha comentado anteriormente la energía cinética es difícil de concebir, por esto, en la relación con la energía potencial, se aprecia en el siguiente cuadro.

VELOCIDAD	EQUIVALE A UNA CAIDA DE [1]	
	ALTURAEN METROS	1 CASA DE
25 Km/h	2,40	1 PISO
50 Km/h.	9,80	3 PISOS
75 Km/h.	22,00	8 PISOS
100 Km/h.	39,40	13 PISOS
125 km/h.	61,30	21 PISOS

La suma de estas dos energías: cinética y potencial, se denomina energía mecánica.
Las equivalencias de dicho cuadro se han obtenido de la forma siguiente:

$$\text{Energía cinética} = \text{Energía potencial}$$
$$\tfrac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = m \cdot g \cdot h.$$

Como deseamos conocer la altura (h) simplificamos la fórmula suprimiendo la masa (m), por tanto quedaría:

---

1 MIGUEL LOPEZ MUÑIZ GOÑI, *Accidente de Tráfico problemática e investigación, 2ª edición, Editorial Colex, Madrid 1995*

$$h = \frac{v^2}{2.g}$$

Ejemplo práctico: *Si un vehículo impacta a 75 km/h.,¿ A qué altura equivaldría de caída?*

75 km/h = 20,83 m/s.
Aplicando la formula: $h = \frac{v^2}{2.g}$; $h = \frac{20,83^2}{19,62} = 22,11$ (1 casa de 8 pisos)

4.5.- Principio de la conservación de la energía: La energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma. La energía cinética que posee un vehículo en movimiento al colisionar contra un objeto se transforma en energía frenante, calor, deformaciones y desplazamientos.

4.6.- Energía de rozamiento: Es la energía consumida por un vehículo en movimiento cuando se aplica el sistema de frenado, hasta el punto de colisión o posición final.
Para que se origine dicho rozamiento intervienen dos factores: *la carretera y los neumáticos.*

La carretera: aporta el grado de adherencia por el tipo de pavimento y el estado del mismo. Un firme nuevo, limpio y seco, tiene más adherencia que otro usado y por supuesto más que otro deslizante por la lluvia, por ejemplo.
Los neumáticos: La adherencia la aporta su banda de rodadura, si posee un buen dibujo tiene más adherencia que otra con un dibujo desgastado
La velocidad también es un factor que interviene en la adherencia. A mayor velocidad menos agarre posee el vehículo.

La fórmula de la energía de rozamiento es:

Eroz = μ . m . g . d

Eroz: energía de rozamiento en julios (J)
μ : (mu) letra griega con la que se representa el coeficiente de adherencia entre neumáticos y asfalto (según tabla) se le suma el tanto por ciento si la inclinación de la carretera es ascendente (rampa o peralte positivo) . y se resta si la inclinación es descendente (pendiente o peralte negativo).
m : peso del vehículo, más el peso del conductor, pasajeros y equipajes en kilogramos..
g : aceleración de la gravedad 9,81 m/s².
d: distancia recorrida el vehículo en la frenada o desplazamiento hasta su posición final.

Ejemplo practico: *Un turismo de 900 kilos de peso viajando solo su conductor, que pesa 80 kilos sin equipajes, circula por una carretera, a nivel, con coeficiente de rozamiento de 0,60, ante una situación de peligro utiliza el sistema de frenado, marcando en el asfalto una huella de 50 metros. Interesa conocer la velocidad a la que circulaba dicho vehículo,*

Datos conocido:
μ : coeficiente de rozamiento 0,60
m : 900 + 80 = 980 kilos.
g : 9,81
d : 50 metros a lo que se le añade 4 metros más. que es lo que tarde el neumático en marcar en la calzada, hasta la goma se calienta. Algunos autores le añaden 1 metro.

Aplicando la formula: Eroz = μ . m. g. d
Eroz = 0,60 . 980. 9,81. 54 = 311.487 Julios.

Como la energía cinética inicial es igual a la energía de rozamiento más la energía cinética final, tenemos:

$$\mathbf{Ec = \frac{1}{2}. m. v^2}$$

Datos conocidos:

Ec = 311.487 julios

m = 980 kilos

de donde: $311.487 = ½ . 980. v^2$

Despejamos v^2 para hallar la velocidad. $v^2 = \frac{311.487 . 2}{980} = 635,68$

$$v = \sqrt{635,68} = 25,21 \text{ m/s} = 90,75 \text{ km/h.}$$

4.7.- Tabla con coeficientes de adherencia [2]

Pavimento	SECO				MOJADO			
Velocidad	**-50 km/h**		**+50 km/h**		**-50 km/h.**		**+ 50 km/h**	
Neumáticos	Nuevos	usados	nuevos	usados	Nuevos	usados	nuevos	usados
Cemento:								
Nuevo	1,20	0,80	1,00	0,70	0,80	0,50	0,75	0,40
Usado	0,80	0,60	0,75	0,60	0,70	0,45	0,65	0,45
Pulido	0,75	0,55	0,65	0,50	0,65	0,45	0,60	0,45
Asfalto:								
Nuevo	1,20	0,80	1,00	0,65	0,80	0,50	0,75	0,45
Usado	0,80	0,60	0,70	0,55	0,70	0,55	0,65	0,40
Pulido	0,75	0,55	0,65	0,45	0,65	0,45	0,60	0,40
Exc.alquitran	0,60	0,50	0,60	0,35	0,60	0,30	0,55	0,25
Adoquines:								
Nuevo	0,95	0,75	0,85	0,60	0,75	0,50	0,70	0,45
Pulido	0,80	0,60	0,75	0,55	0,70	0,40	0,60	0,40
Grava:								
Compacta	0,85	0,55	0,80	0,50	0,80	0,40	0,60	0,40
Suelta	0,70	0,40	0,70	0,40	0,75	0,45	0,75	0,45
Hielo:liso	0,25	0,10	0,20	0,07	0,10	0,05	0,10	0,05
Nieve:Suelta	0,25	0,10	0,20	0,10	0,60	0,30	0,60	0,30
Compacta	0,55	0,30	0,55	0,35	0,60	0,30	0,60	0,30

---

[2] J.STANNARD BAKER, *Traficc accident investigator´s manal for police, Northwestern University, Evanston, Illinois (EEUU),1964, traducción DGT 1970*

4.8.- Tabla con coeficiente de adherencia, neumáticos de camión: [3]

Descripción superficie calzada	SECO	MOJADO	OTROS
Hormigón	0,65	0,50	-
Hormigón muy pulido	-	0,25	
Asfalto	0,60	0,30	
Nieve compacta	-	-	0,15
Nieve compacta con cadenas	-	-	0,60
Hielo	-	-	0,10
Hielo con cadenas	-	-	0,25

4.9.- Tabla con otros coeficientes de rozamiento (4)

CONCEPTOS	*COEFICIENTE DE ROZAMIENTO*
Metal sobre asfalto	0,30 - 0,50
Techo del turismo sobre asfalto	0,40
Metal sobre barro	0,20
Turismo con turismo	0,55
Turismo contra bionda	0,30
Turismo con varios vuelcos	0,38 - 0,53
Motocicleta arrastrando	0,55
Peatones sobre asfalto	0,80 - 1,00

3.y 4- ESCUELA DE TRAFICO DE LA GUARDIA CIVIL, *Temario de Investigación y reconstrucción de accidentes de tráfico, III seminario de actualización para componentes de la modalidad de atestados, Merida, (Badajoz),2005*

CAPITULO 5

FIRMES Y PAVIMENTOS

5.1.- Firme: Es el conjunto de capas colocadas sobre la explanada, para facilitar una superficie de rodadura segura para la circulación. Conocido el coeficiente de adherencia pasamos a estudiar, por su interés, las distintas clases de firme:

5.2.-Clases de firmes: Por su composición se dividen en: rígidos, flexibles y adoquinados.

5.2.1.-*Firmes rígidos:* Está construido con una base de hormigón, los materiales utilizados es el cemento Pórtland mezclado con áridos, gravas, arena natural y agua. Firme muy acto para vías con un tráfico pesado, es de muy elevado coste, consta de las siguientes capas, citadas de la parte inferior a la superior: subbase (en algunas ocasiones) base y pavimento.

5.2.2.-*Firmes flexibles:* Son los que sus pavimentos están construidos con materiales bituminosos, bien sean asfálticos o alquitranes, Los primeros se obtienen por la destilización del petróleo y los segundos por la destilación del carbón de hulla. Esta clase de firmes se recupera por si solo de las deformaciones que ocasionan las cargas del tráfico. Están formados por las mismas capas que el anterior.

5.2.3.- ***Firmes adoquinados:*** Son los pavimentos construidos por piedras labradas en forma de tronco de pirámide rectangular; la base es de hormigón.

5.3.- Capas del firme: Son las siguientes: subbase, base y pavimento.

5.3.1.-*Subbase:* Es la capa resistente situada sobre la explanación con funciones también drenante, al permitir la evacuación de las aguas procedentes de las capas superiores. Para las vías de tráfico ligeros o medio, se emplean áridos naturales machacados; para las de tráfico pesado, se utiliza el hormigón.

5.3.2.- ***Base:*** Es la que soporta el pavimento y su rigidez es superior a las de las capas inferiores. En su construcción se emplean la zahorra artificial, un árido machacado y el macadán, un árido de granulometría discontinua.

5.3.3.-*Pavimento:* Es la capa superior del firme que soporta la carga del tráfico. Debe reunir las siguientes cualidades: estar exentos de ondulaciones y ser impermeable evitando que el agua pase a las capas inferiores.

5.4.- Tratamientos del firme flexible: A este tipo de firme se le da el siguiente tratamiento:

5.4.1.-*Zona superficial:* Se emplea un tratamiento bituminoso con gravilla que puede ser: monocapa, simplemente superficial; bicapa, doble tratamiento superficial, y multicapa, varios tratamientos superficiales. O sin gravilla, en este caso están comprendidos: el riego de imprimación y el de adherencia.

El primero consiste en la aplicación de ligante asfalto o alquitrán para impermeabilizar la superficie y el segundo para conseguir la unión entre las capas bituminosas

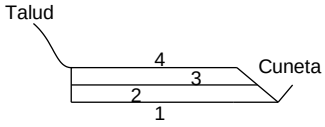
5.4.2.-*Lechadas bituminosas (slurry)*: Es un mortero bituminoso mezclado con áridos, utilizado para impermeabilizar superficie de rodaduras agrietadas.

5.4.3.-*Aglomerados en frío*: La mezcla de alquitrán; betún asfáltico; áridos, grueso y fino, se extienden, compactado, sobre el pavimento a temperatura ambiente.

5.4.4.-*Aglomerados en caliente*: Se esparce la mezcla anterior a una temperatura, de aplicación, superior a la ambiente.

5.5.- Clases de firmes flexibles: Para tráfico ligero, medio y pesado.

5.5.1.-*Tráfico ligero:* Motocicletas y turismos. Su composición es de doble tratamiento superficial, con base de macadán y subbase de granular.

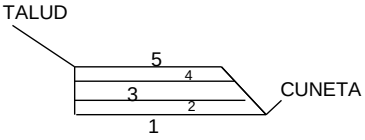


(FIG. 9)

1.- Explanación
2.- Subbase granular
3.- Base de macadan
4.-Doble tratamiento superficial

Secciónes: 2.-, espesor 15 cm
3.- espesor 20 cm
4.- espesor capa intermedia 7cm; de rodadura 5 cm.

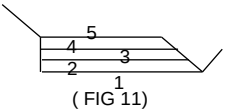
5.5.2.-*Tráfico medio:* Para vehículos de hasta 3.500 kilos. Doble tratamiento superficial, con base de zahorra artificial y subbase granular drenante.



(FIG 10)

1.- Explanación
2.- Subbase granular drenante,espesor 25 cm
3.- Base de zahorra artificial, espesor 20 cm
4.- Capa intermedia, espesor 7 cm
5.- Capa de rodadura, espesor 5 cm.

5.5.3.-*Tráfico pesado:* Vehículos superior a 3.500 kilos. Capa de rodadura e intermedia con una mezcla bituminosa, base de grava y cemento, subbase de cemento.



(FIG 11)

1.- Explanación
2.- Subbase de cemento,espesor 20 cm
3.- Base cemento y grava, espesor 20 cm
4.- Mezcla bituminosa intermedia, espesor 9 cm
5.- Mezcla bituminosa de rodadura, espesor 6 cm

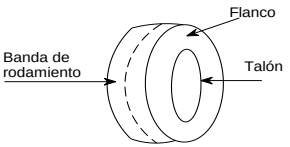
CAPITULO 6

NEUMATICOS

6.1.-Neumáticos: La función en el automóvil es importantísima, dirige la trayectoria, soporta la carga, participa en la estabilidad, etc. En su complicada elaboración, los fabricantes, emplean diferentes clases de caucho para lograr una mayor seguridad, adaptándose a los modernos y potentes modelos que las compañías automovilísticas ofrecen en el mercado.

6.2.-El neumático más utilizado: En la actualidad el neumático más utilizado es el radial, creado por Michelín en el año 1948. Su carcasa esta construida con aros circulares y su armazón lo componen dos o tres lonas quedando independiente la banda de rodamiento y el flanco; superando en prestaciones, en cuanto, adherencia menor calentamiento, mayor comodidad y más duración a los neumáticos diagonales, de fabricación más antigua.

6.3.- Elementos de la estructura de un neumático: Se distinguen tres elementos principales: Banda de rodamiento, flancos y talón.



(FIG 12)

6.3.1.-*Banda de rodamiento:* Debe presentar un dibujo con una profundidad en las ranuras principales, de la citada banda, no inferior a 1,6 milímetros; turismos, furgonetas, camiones con una masa máxima inferior a 3.500 kilos, remolques y semirremolques, que no excedan de la expresada masa, como previene el Reglamento General de Vehículos, en su anexo VII.
Si la profundidad es menor el neumático deberá ser reemplazado por resultar peligroso para la circulación al quedar disminuida su adherencia, especialmente, en calzadas mojadas por la lluvia. Los canalillos de drenaje, de la banda de rodadura, sin poseen un excesivo desgaste no expulsa el agua y ésta se interpone entre la cubierta y el asfalto creando una película que contribuye a que el neumático flote; originándose el fenómeno conocido, en el mundo del automovilismo, por "acquaplaning" . El vehículo se hace incontrolable, originándose un alto riesgo de accidente. También influyen otros factores, en la aparición de dicho fenómeno, presión de inflado de los neumáticos incorrecta, velocidad excesiva y elevada cantidad de agua en la calzada.

6.3.2.- ***Flancos:*** Son los laterales del neumático y su misión es absorber todo tipo de flexiones.

6.3.3.-*Talón:* Está compuesto por unos aros de acero, que impide la deformación de la cubierta y su perfecto ajuste con la llanta.

6.4.- Esfuerzos soportados por un neumático: Tres son los esfuerzos que tienen que soportar un neumático: vertical, respecto al peso del vehículo; longitudinal, frenadas y arrancadas; transversal, curvas, viento lateral y giros.

6.5.- Interpretación de las inscripciones en un neumático: Todos los neumáticos llevan grabado, en su flanco, unas nomenclaturas, por ejemplo:

185/65- R 14 - 86H- MXV- tubuless – E4 02843- DOT 204- TW1- Regroovable.

185	Es la anchura del neumático en milímetros.
65	El perfil; la altura del flanco es el 65% del ancho.
R	Neumático radial.
14	Diámetro de la llanta, en pulgadas.
86	Índice de carga (ver tabla) en este caso 530 kg.
H	Código de velocidad (ver tabla) hasta 210 km/h..
MXV	Tipo de escultura lo establece la casa constructora.
Tubuless	Sin cámara.
E4	País que efectuó la homologación (España).
02843	Número de homologación del neumático.
DOT204	20 la semana de fabricación; 4 el año (2004), vida de los neumáticos 6 años.
TW1	Indicador de desgaste de la cubierta
Regroovable	Que se puede reesculturar solo está autorizado en los neumáticos para los vehículos de un peso superior a los 3.500 kg.

6.6.- Indice de velocidad: en el siguiente recuadro aparecen los códigos de velocidad con indicación de sus valores correspondientes.

Código	*Km/h*	*Código*	*Km/h.*
D	65	P	150
E	70	Q	160
F	80	R	170
G	90	S	180
J	100	T	190
K	110	U	200
L	120	H	210
M	130	V	240
N	140	W	270
P	150	Y	300
Q	160	VR ZR	+210 +240

6.7.- Indice de carga de un neumático: En un camión puede figurar dos índices de carga, por ejemplo, 150/140; significa: 150, una carga de 3.350 kilos en eje sencillo y 140 una carga de 2.500 kilos, en cada neumático de un eje de dos.
Al final de este trabajo, en el apéndice, se recoge una tabla en la que consta el índice de capacidad de carga de un neumático, según su numeración inscrita en el mismo.

6.8.- Los neumáticos nuevos siempre detrás: Si en un tramo recto de la carretera soltamos, momentáneamente, el volante de la dirección del vehículo observaremos como se desvía hacia la derecha a causa del bombeo de la carretera; creándose el fenómeno conocido por deriva. También se dará esta circunstancia: por la acción del viento, la fuerza centrifuga en las curvas, baja presión de inflado de los neumáticos, etc.; para poder controlar dicha situación es conveniente que el eje delantero, del automóvil, posea más deriva que el eje trasero. De producirse una pérdida súbita de la trayectoria del vehículo, por las causas expuestas, al poseer mayor deriva el eje delantero, el conductor no tendría problema de controlar, con el volante de la dirección, la situación anómala que se ha originado.
Para obtener una superior deriva en el eje delantero se proporcionará más presión a los neumáticos del eje trasero, donde se instalarán las cubiertas nuevas, pues, como ha quedado explicado un derrape o reventón de neumático es más peligroso si se origina en el eje trasero.

6.9.- Desgaste y deterioros de los neumáticos: Muchas son las causas que intervienen en el desgaste y deterioro de los neumáticos:

A.-) En la banda de rodamiento:

Desgaste	**Causas**
Laterales	Bajo inflado o sobre carga
Lateral exterior o interior	Mal reglaje de la dirección
En el centro	Exceso de presión de inflado
En forma de dientes de sierra	Revisar la suspensión
Se aprecia en un punto las lonas	Avería en el sistema de frenadp
Más en una zona que en otras	Frenadas excesivas o avería en el sistema de frenado

Deterioros	**Causas**
Cortes múltiples	Malas carreteras
Separación de la banda	Rodaje a bajo inflado o sin aire. Rodaje a bajo inflado y a gran velocidad por autopista y con sobre carga. Envejecimiento de la banda de rodadura.

B.-) En los flancos:

Deterioros	**Causas**
Neumáticos gemelos	Alojamiento de algún objeto entre los neumáticos.
Rotura de la carcasa en el flanco	Rodaje sin aire o bajo inflado Exceso de carga. Rodaje excesivo con cadenas
Bolsa de aire	Montaje sin cámara en una cubierta fabricada para llevarla
Desgaste circular	Roces contra acera o bordillos

CAPITULO 7

FRENOS

7.1.-Frenos: En la actualidad los vehículos utilizan dos tipos principales de frenos, que según su accionamiento pueden ser: hidráulicos, de disco o de tambor y neumáticos, éstos instalados en vehículos de gran tonelaje; que también van dotados de un sistema auxiliar de frenado: eléctricos, hidrodinámico y de motor. Pueden llevar acoplado el freno vehículos ligeros y motocicletas.
A continuación y de forma somera se explica el funcionamiento de todos los frenos mencionados.

7.2.-Frenos hidráulicos: Es el utilizado por los turismos y vehículos de pequeño tonelaje; su funcionamiento es el siguiente:
La fuerza ejercida, por el conductor, sobre el pedal del freno es ampliada por un mecanismo llamado servofreno; que actúa sobre una bomba principal presionando el liquido hidráulico contenido en un depósito y a través de unas conducciones, metálicas y flexibles, llega hasta las ruedas, donde un bombín oprime, enérgicamente, las pastillas sobre el disco y las zapatas contra el tambor, reduciendo la velocidad del automóvil hasta su detención.
Actualmente, los vehículos, llevan instalados un doble circuito, normalmente, en diagonal, como medida de seguridad, para evitar en caso de avería que el automóvil se quede sin freno. Así un circuito frena las ruedas delantera derecha y trasera izquierda y el otro la delantera izquierda y la trasera derecha.

7.2,1.- Freno de disco: Normalmente, en los turismos, van montados en las ruedas delanteras; aunque cada vez son más los que también los llevan acoplados en las ruedas traseras. En los camiones comienzan a instalarse, pero continúan dando más rendimiento, en estos vehículos, el de tambor, por su enorme capacidad para detener la elevada masa puesta en circulación.
Al pisar, el conductor, el pedal del freno, el liquido hidráulico presiona a unos pistones que se encuentran en el interior de una mordaza en forma de"U "que comprimen contra las dos caras de la superficie metálica del disco, dos pastilla, adheridas a una placa de acero, consiguiendo disminuir o detener la velocidad del vehículo.
La ventaja sobre los frenos de tambor es que posee mejor frenada y mayor refrigeración de las elevadísimas temperaturas que alcanzan, debido a la transformación de la energía cinética en energía calorífica.

7.2.2.- Frenos de tambor: conocido también como freno de expansión, de mordazas o de zapatas. Está compuesto de los siguientes mecanismos:
Un plato soporte, fijado al cubo de la rueda, donde van acoplados: dos zapatas de acero en forma de media luna, los mecanismos de accionamiento y los de fijación. Quedando todo cubierto por el tambor de freno al que se fija, por medio de unos tornillos resistentes, la llanta del neumático.
En los frenos de funcionamiento hidráulico, un bombín acoplado en la parte superior mueve las zapatas, abriéndose y rozando con sus forros contra el tambor, diminuyendo la velocidad de giro de las ruedas, logrando la detención del automóvil.

En los frenos neumáticos o de aire comprimido, la apertura de las zapatas, para lograr su roce contra el tambor y detener la marcha del vehículo, se consigue en lugar del bombín, por una leva en forma de **S** o de **Z**. Un cilindro de mando neumático mueve una palanca trasladándole dicho movimiento a la leva que al girar sobre unos rodillos abre las zapatas; este sistema ha sido sustituido por el freno de cuña. En este sistema la palanca que le proporciona el movimiento al cilindro de mando neumático, en lugar de mover las levas, la varilla, con su extremo en forma de cuña, se introduce en un pistón, desplazando sus extremos y actuando separando las zapatas, rozando éstas contra el tambor y frenando el vehículo.

7.2.3.-Frenos neumáticos: Un comprensor, ubicado en el compartimiento del motor y accionado por éste por medio de una correa, coge el aire de la atmósfera y lo almacena en un depósito general distribuyéndolo, comprimido, a través de una válvula de cuatro vías a otros depósitos auxiliares siendo utilizados por: los frenos delanteros, traseros, de estacionamiento, del remolque, órganos de la dirección, embrague, suspensión neumática y caja de velocidades.
Funcionamiento: el conductor, al pisar el pedal del freno acciona una válvula que lanza el aire comprimido por un doble circuito a las ruedas delanteras y traseras; donde un cilindro o pulmón, que consta de un resorte y una varilla empujadora, al recibir el aire a presión, en el interior de la cámara, lanza hacia delante la varilla empujadora que acciona la palanca del freno abriendo las zapatas, frenando el vehículo al rozar sus forros contra el tambor de la rueda.
Un manómetro, instalado en el panel de instrumentos, informa por medio de una aguja al conductor de la presión de aire en los depósitos; también va provisto de un indicador

luminoso y cuando la presión desciendo de los valores mínimos se conecta una señal acústica.

7.2.4.-Frenos eléctricos: Instalado en el vehículo de gran tonelaje, como auxiliar del freno de servicio en las carreteras de pronunciados descensos y a plena carga. Estos retardadores de forma cilíndrica compuestos, interiormente, por bobinas intercaladas de diferentes polaridades y por dos rotores, uno frontal y otro trasero, sujetados por un eje central que va conectado al árbol de la transmisión. Al utilizarlo el conductor, por medio de una palanca, situada en el panel de instrumentos de la cabina, hace circular por las bobinas una corriente procedente de la batería del vehículo, contribuyendo a que los rotores frene el movimiento de la transmisión a las ruedas.

7.2.5.-Frenos hidrodinámicos: Montado de fábrica, en vehículos de gran tonelaje, en el árbol delantero de la transmisión, está formado por una bomba, en forma de rueda circular provista de paletas que recibe el nombre de rotor, conectada a la transmisión; en su parte anterior lleva una turbina fija denominada estator, así como un depósito conteniendo aceite hasta un determinado nivel.
El conductor accionando una palanca, situada en el panel de instrumentos de la cabina, conecta el freno hidrodinámico, entrando aire comprimido en el interior del retardador y en el depósito hidráulico, aumentando la `presión al pasar una cantidad de aceite al rotor frenado su giro y transfiriendo dicha retención al árbol de la transmisión, originándose así el frenado del vehículo.

7.2.6.-Freno del motor: El sistema más usado es el freno ubicado en el colector de escape. El conductor, presiona un mando de pie colocado en el piso de la cabina del camión y el aire comprimido procedente de un depósito pasa a un cilindro que acciona una palanca de la bomba inyectora cortando la entrada de combustible al motor. Un sistema de válvula de mariposa impide el paso de los gases quemados hacia el colector de escape, creándose una presión que dificulta el desplazamiento de los pistones, frenando así el vehículo. Este sistema de frenado, auxiliar del freno de servicio, sólo se debe utilizar en carreteras con descensos muy pronunciados.

7.2.7.-Frenos antibloqueantes (ABS).- El sistema de frenado ABS (Anti Blockier System) consta en el circuito con una unidad electrónica de control, con su correspondiente relé que le proporciona una corriente sin variaciones en cada uno de los bujes de las ruedas donde va acoplado un anillo dentado con sensor para captar la velocidad de giro de la misma. En una frenada de emergencia cuando las ruedas van a bloquearse, el citado sensor envía una señal a la unidad de control que emite a su vez una señal eléctrica al selenoide de mando que levanta la válvula de cada rueda evitando su bloqueo, no apreciándose por tanto en la calzada huellas de frenado, permaneciendo el vehículo maniobrable ante una situación de peligro. En el caso de un fallo en el ABS, entra en funcionamiento el sistema de frenado convencional, encendiéndose un testigo luminoso en el cuadro de instrumentos del vehículo.

7.3.- Eficacia de los frenos: Lo admitido como normal es una eficacia del 70%, en relación con la deceleración del vehículo. Se emplea la siguiente tabla [1]

Eficacia %	*Deceleración m/s²*
100	9,81
70	6,87
60	5,88
50	4,90
40	3,92
30	2,94
20	1,96
10	0,98

7.4.- Rendimiento mínimos de los frenos: El exigido en el Reglamento número 13, es el siguiente:[2]

VEHICULO	**DECELERACION**	**OBSERVACIONES**
MOTOCICLETA	5,8 m/s²	Ambos frenos A 80 Km/h
TURISMOS	5,8 m/s²	A 80 km/h.
AUTOBUSES	5 m/s²	A 60 km/h
CAMIONES > 12 Tm	5 m/s²	A 60 km/h.

A esta eficacia de frenado se debe tener en cuenta el tiempo de respuesta, el que transcurre desde que el conductor utiliza el sistema de frenado y este ejerce toda su intensidad. Se expone a continuación:

---

[1] MIGUEL LOPEZ MUÑIZ GOÑI, obra citada

[2] COMISION ECONOMICA PARA EUROPA / NACIONES UNIDAS (CEPE/ONU) *Reglamento número 13 R-10 de 6-02-1989 (BOE 11-10-1989)*

TABLA[3]

EFICACIA DE LOS FRENOS EN %	TIEMPO PARA EL BLOCAJE EN DECIMAS DE SEGUNDOS
80	2
70	2
60	3
50	5
40	6
30	8

---

[3] MIGUEL LOPEZ MUÑIZ GOÑI, obra citada

CAPITULO 8

CANTIDAD DE MOVIMIENTO

8.1.-Cantidad de movimiento: La cantidad de movimiento lineal de un móvil es igual al producto de su masa por la velocidad llevada en ese momento.
Cuando una fuerza se ejerce sobre un vehículo le transmite una aceleración; cuanto más tiempo actúa, dicha fuerza, mayor es la velocidad que adquiere el móvil, debido al impulso mecánico.
En los problemas de choques o colisiones, se aplica la cantidad de movimiento a dos o más cuerpos con distintas velocidades. Así dos vehículos de masas: m^1 y m^2 que circulan a velocidades v^1 y v^2 nos da la ecuación de la cantidad de movimiento

$$m^1 \cdot v^1 + m^2 \cdot v^2$$

8.2.-Principio de la conservación de la cantidad de movimiento (PCCM): Si sobre un sistema no actúa fuerzas externas, la cantidad de movimiento total permanece constante, por tanto, la cantidad de movimiento antes del choque es igual a la cantidad de movimiento después del impacto (*3ª Ley de Newton)*

$$m^1 \cdot v^1 + m^2 \cdot v^2 = m'^1 \cdot v'^1 + m'^2 \cdot v'^2$$

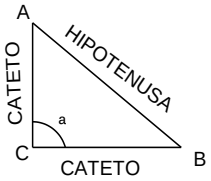
8.3.-Choque: Se origina un choque cuando dos cuerpos impactan entre sí, produciéndose un cambio en su momento lineal y en su energía. Como solo es las fuerzas internas las que intervienen en un choque, se conserva la cantidad de movimiento, aplicándose la ecuación anterior.

8.3.1.-Choques elásticos: Los cuerpos, después del choque, recobran su forma primitiva. La energía cinética antes del choque es igual a la de después del choque.

8.3.2.-Choques inelásticos: Los cuerpos, después del impacto, no recobran su forma original, manteniéndose su deformación; adquiriendo los dos cuerpos unidos una velocidad. A este grupo pertenecen los automóviles.
En esta clase de choque o colisión, la energía cinética antes del impacto es mayor que la de después del mismo, transformándose su diferencia en energía de deformación y calor.

Para una mejor compresión de lo explicado veremos en un supuesto práctico,*(apartado 8.6)* la aplicación del principio de la cantidad de movimiento y la conservación de la energía cinética, donde utilizaremos también la trigonometría, pero antes repasemos:

8.4.- Trigonometría práctica: La trigonometría es la ciencia que tiene por objeto la resolución de los triángulos rectilíneos y las medidas de los ángulos y de los arcos.



(FIG. 13)

Seno de $\alpha = \frac{AC}{AB}$; Coseno de $\alpha = \frac{BC}{BA}$; Tangente de $\alpha = \frac{AC}{BC}$

Veremos más adelante su utilización en el cálculo de velocidad de un vehículo.

8.5.- Medidas de los arcos: Se emplea el radian, que es un arco que tiene una longitud igual al radio de la circunferencia. Longitud de la circunferencia: 2 π y el número de grados 360.

Ejemplo práctico: *Cuantos radianes es 60º*

360º ---------- 2π
60º ---------- x

$x = \frac{60 \times 2 \times 3,14}{360} = 1,04$ radianes

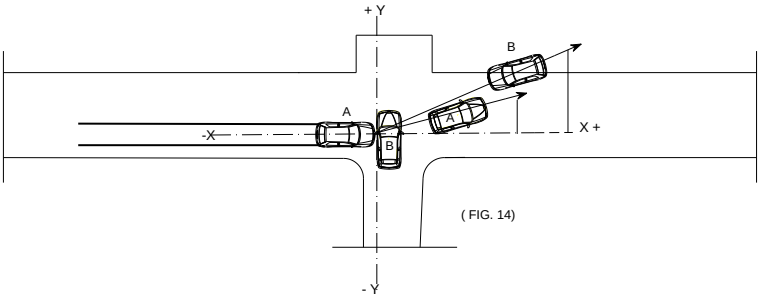
Si deseamos conocer cuantos grados es 1,046 radianes

2π ---------- 360º
1,046 ---------- x

$x = \frac{360 \times 1,04}{2 \times 3,14} = 60$ º

8.6.- Colisión en una intersección: Veremos el ejemplo practico que se cita en el apartado 8.3.2.

El vehículo **A**, circula por una vía preferente, cuando irrumpe, por su derecha, de un camino asfaltado señalizado con stop, el vehículo **B**, cortándole la trayectoria. El conductor del vehículo **A**, al observar la situación de peligro utilizó el sistema de frenado, marcando en el asfalto dos huellas, paralelas, de 30 metros de longitud.



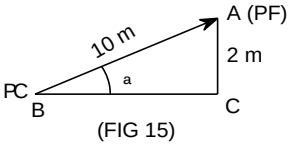
(FIG. 14)

Posición final de los vehículos, después de la colisión:
A.- A una distancia del punto de colisión (PC) de 10 metros.
B.- A una distancia del PC de 12 metros. Este vehículo en su desplazamiento, sin control, traza un arco de 60º.
Se desea conocer la velocidad a la que circulaba el vehículo **A**.
Datos a tomar para la realización del cálculo:
Vehículo A: Tara: 1.100 Kg + peso del conductor 80 kg, sin equipaje = 1.180 kg. de masa.
Vehículo B: Tara: 1.200 Kg + peso del conductor 80 kg., sin equipaje = 1.280 kg de masa.
Batalla: 2,40 metros.

Arco trazado en el desplazamiento 60º, equivale a 1,04 radianes.

Se miden los ángulos de salida de los vehículos del PC a la posición final (PF).

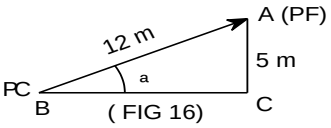
Vehículo A:



(FIG 15)

Seno de α = 2 / 10 = 0,20 radian; los grados del ángulo ACB, es de 12º, obtenido según lo explicado en el apartado 8.5

Vehículo B:



(FIG 16)

Seno de α = 5 / 12 = 0,41 radian, equivale a 24º

Interesa conocer la velocidad post-colisión del **vehículo A**; para ello aplicamos la fórmula de la energía de rozamiento o frenante (pagina 32).

$$Eroz = \mu \cdot m \cdot g \cdot d$$

μ : coeficiente de adherencia de la carretera, según tabla 0,60, tramo a nivel. Se tendrá muy en cuenta de corregir este coeficiente si el tramo de la vía es rampa (subida) o pendiente (bajada) si fuera de un 3%, entonces dicho coeficiente quedaría:
Rampa: 0,60 + 0,03 = 0,63; pendiente 0,60 -0,03 = 0,57
m: masa 1.180 kg.
g : aceleración de la gravedad 9,81 m/s²
d : distancia recorrida 10 metros.

Eroz = 0,60 · 1.180 · 9,81 · 10 = 69.454,80 julios

Utilizamos la fórmula de la energía cinética (página 29), para conocer la velocidad post-colisión.

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

$$69.454,80 = \frac{1}{2} \cdot 1.180 \cdot v^2$$

$$v^2 = \frac{69.454,80 \cdot 2}{1.180} = 117,72$$

$$v = \sqrt{117,72} = \mathbf{10,84\ m/s}$$

Velocidad post-colisión **vehículo B,** tenemos que tener en cuenta en este caso dos energías: la de rozamiento y la de rotación, pues en su desplazamiento trazó un arco de 60º.
Veamos como se obtiene

La energía de rozamiento, igual que el anterior

$$Eroz = \mu \cdot m \cdot g \cdot d$$

$Eroz = 0{,}60 \cdot 1.280 \cdot 9{,}81 \cdot 12 = 90.408, 96$ julios

La energía de rotación, aplicando la fórmula:

$$Erot = \frac{1}{2} \cdot \mu \cdot m \cdot g \cdot \alpha \cdot b$$

μ : según Rudolf Limpert [1] , al coeficiente de rozamiento se le descuenta un 20 % para obtener el coeficiente de fricción lateral, en este supuesto:
20% de 0,60 = 0,12,
0,60 – 0,12 = 0,48 que sería el coeficiente corregido
m : masa 1.280 kg.
g : aceleración de la gravedad 9,81 m/s²
α : ángulo girado 60º **,** en radianes lo tenemos calculado 1,04 (página 55)
b : batalla del vehículo B, 2,40 metros.

$Erot: \frac{1}{2} \cdot 0{,}48 \cdot 1.280 \cdot 9{,}81 \cdot 1{,}04 \cdot 2{,}40 = 7.522{,}02$ julios

Eroz (90.408,96) + Erot (7.522,02) = 97.930, 98 julio

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

$97.930{,}98 = \frac{1}{2} \cdot 1.280 \cdot v^2$; v = **12,37 m/s**

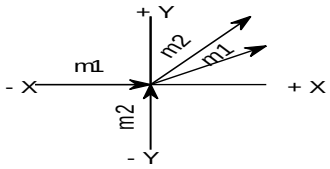
Conociendo estos datos, aplicamos el principio de conservación de la cantidad de movimiento

$$m^1 \cdot v^1 + m^2 \cdot v^2 = (m^1 + m^2) v^3$$

---

[1] LIMPERT Rudolf, *Motor Vehicle accident Reconstruction and analysis*, Editor Michie Company, Charlottesville, EE.UU., 2005

Esta ecuación se desdobla para el eje X y para el eje Y



(FIG 17)

Vehículo A (m¹) α = 12º (según lo calculado, página 57).
Vehículo B: (m²) β= 24º

Eje X: Vehículo A

$$V = \frac{Ma \cdot Va \cdot \cos \alpha + Mb \cdot Vb \cdot \cos \beta}{Ma \cdot \text{coseno ángulo de entrada}}$$

+

Ma : masa 1.180 Kg.
Va : velocidad post-colisión, 10,84 m/s
cos α (coseno)12º = 0,97
Mb: masa vehículo B, 1.280 kg.
Vb: velocidad post-colisión vehículo B, 12,37 m/s
cos β(coseno) 24º= 0,91
ángulo de entrada vehículo A , 0º ; cos 0º = 1

$$V = \frac{1.180 \cdot 10,84 \cdot 0,97 + 1.280 \cdot 12,37 \cdot 0,91}{1.180 \cdot 1} = \mathbf{22,72\ m/s}$$

Eje Y: Vehículo B

$$V = \frac{Ma \cdot Va \cdot \text{sen } \alpha + Mb \cdot Vb \cdot \text{sen } \beta}{Mb \cdot \text{seno ángulo de entrada}}$$

sen α (seno) 12º = 0,20
sen β (seno) 24º = 0,40
ángulo de entrada vehículo B, 90º; sen 90º = 1

$$V = \frac{1.180 \cdot 10,84 \cdot 0,20 + 1.280 \cdot 12,37 \cdot 0,40}{1.280 \cdot 1} = \mathbf{6,94\ m/s}$$

Calculamos la velocidad, pre – colisión, del **vehículo A**:

Huellas de frenada: 30 metros.
Los metros que tarda el neumático en marcar hasta calentarse oscila entre 1 a 4 metros; pero este dato puede ser despreciado por no ser muy exacto. En este supuesto se ha tomado 4 metros, por tanto, el total de la huella de frenado es de 34 metros.
Aplicamos la formula de la energía frenante o de rozamiento:

$$Eroz = \mu \cdot m \cdot g \cdot d$$

Eroz = 0,60 · 1.280 · 9,81 · 34 = 236.146,32 julios

Calculamos la energía cinética post-colisión

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

$$Ec = \frac{1}{2} \cdot 1.180 \cdot 22,72^2 = 304.557,05 \text{ julios}$$

Sumamos la dos energías halladas:

236.146,32 + 304.557,05 = 540.703,37 julios

Corresponde a una velocidad de

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

$540.703{,}37 = \frac{1}{2} \cdot 1.180 \cdot v^2$;

v = 30,27 m/s

Deseamos conocer la deceleración del **vehículo A,** desde que su conductor utiliza el freno, hasta el bloqueo de las ruedas, respuesta sistema de frenado. Según tabla, página 51, es de 0,20 s.

$$a = \frac{1}{2} \cdot \mu \cdot g$$

a : aceleración
μ : coeficiente de rozamiento 0,61
g : aceleración de la gravedad 9,81 m/s²

$$a = \frac{0{,}60 \cdot 9{,}81}{2} = 2{,}94 \text{ m/s}$$

Para conocer la velocidad final del **vehículo A,** aplicamos la ecuación del movimiento rectilíneo uniformemente acelerado (MRUA)

$V^1 = Vo + a \cdot t$

V^1 : velocidad final.
Vo: velocidad inicial
a : aceleración, 2,94 m/s
t : tiempo respuesta frenos 0,20 segundos

$V^1 = 30{,}27 + 2.94 \cdot 0{,}20 =$ **31 m/s = 112 km/h**

La velocidad del **vehículo A,** 112 km/h , con un error de ± 10 km/h..

Deseamos conocer también la distancia desde el punto de percepción real (PPR), donde el conductor, del vehículo **A**, percibió la situación de peligro, al punto de decisión (PD), donde el conductor reaccionó ante tal situación.

e : espacio en metros

v : velocidad 31 m/s

t: tiempo de reacción, se estima en 1 segundo(el llamado por los investigadores norteamericano el segundo del susto) para un conductor en circunstancias normales.

$e = 31 \cdot 1 =$ **31 metros**.

Y la distancia del PD al punto de colisión (PC), teniendo en cuenta la respuesta de los frenos, para calcularla aplicamos la ecuación:

$$E = \frac{V^1 + V^2}{2} \cdot t$$

E : distancia

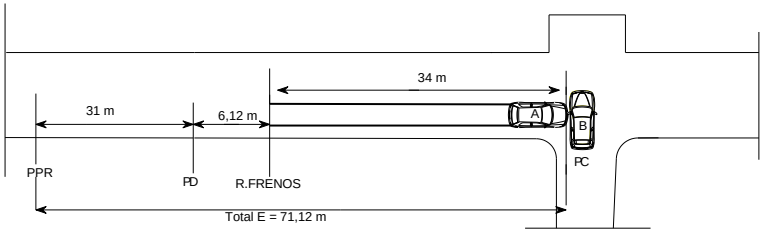
V^1: 30,27 m/s

V^2: 31,00 m/s

t : tiempo respuestas de los frenos 0,20 s

$$E = \frac{30{,}27 + 31{,}00}{2} \cdot 0{,}20 = \textbf{6,12 metros}$$

Veremos en forma gráfica estas distancias calculadas, para una mejor compresión



(FIG 18)

Supongamos que la vía preferente está limitada a 70 km/h., si el vehículo **A** hubiese circulado a dicha velocidad, ¿ se habría evitado el accidente?.

Veamos:
Distancia del PPR al PC, es de 71,12 metros (página anterior)
70 km/h = 19,44 m/s.
$e = v \cdot t$; $19,44 \cdot 1 = 19,44$ m.
v: 19,44 m/s.
t: 1 s (tiempo de reacción conductor)

Nos interesa conocer la distancia de parada del vehículo **A**; para lo ello recurrimos a la energía cinética y a la de rozamiento:

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \mu \cdot m \cdot g \cdot d$$

Simplificamos y eliminamos **m** y hallamos **d**

$$d = \frac{v^2}{2 \cdot \mu \cdot g \cdot f} = \frac{19,44^2}{8,24} = 45,86 \text{ m.}$$

f: eficacia frenos, normal 0,70 (pagina 50)

45,86 m + 19,44 m (tiempo reacción) = 65,30 metros.

Se habría evitado el accidente

8.7.- Colisión por alcance: Ejemplo práctico:

El vehículo **A** circula por una vía de doble sentido de circulación. Por imperativo del tráfico el conductor del vehículo **B**, que le precedía, reduce la marcha; siendo alcanzado, en su parte posterior, por el automóvil **A**; su conductor utilizó el sistema de frenado dejando marcadas en el asfalto dos huellas paralelas de 40 metros de longitud. Se desea conocer a que velocidad circulaba el vehículo **A**. El conductor del **B**, manifestó que en el momento del impacto circulaba a 40 km/h (11,11 m/s).

Vehículo A: masa: 1.300 kg (tara 1.200 kg. + peso del conductor 80 kg. + equipaje 20 kg.)
Vehículo B: masa 1.200 kg (tara 1.1.30 kg + peso del conductor 70 kg)
Otros datos necesarios:

- Coeficiente de rozamiento de la calzada: 0,60
- Tiempo de reacción del conductor del A: 1 segundo.
- Respuesta de frenos vehículo A: 0,20 segundos
- Desplazamientos de los vehículos 15 metros.

Calculamos la velocidad post colisión de los dos vehículos unidos en el desplazamiento. Aplicamos la formula de la energía frenante o de rozamiento:

$$Eroz = \mu \cdot ma + mb \cdot g \cdot d$$

$$Eroz = 0{,}60 \cdot 1.300 + 1.200 \cdot 9{,}81 \cdot 15 = 220.725 \text{ julios}$$

Calculamos la energía cinética post-colisión

$$Ec = \frac{1}{2} \cdot ma + mb \cdot v^2$$

$$220.725 = \frac{1}{2} \cdot 2.500 \cdot v^2 = 13{,}28 \text{ m/s}$$

Determinamos con la ecuación del principio de la cantidad de movimiento (PCCM) la velocidad del vehículo A.

$$V = \frac{Ma \cdot Va + Mb \cdot Vb}{Ma}$$

$$V = \frac{1.300 \cdot 13,28 + 1.200 \cdot 13,28}{1.300} = 25,53 \text{ m/s}$$

Aplicamos la velocidad que llevaba el vehículo **B**, que al llevar el mismo sentido irá la ecuación con signo negativo.

$$V = \frac{Ma \cdot Va - Mb \cdot Vb}{Ma}$$

$$V = \frac{1.300 \cdot 25,53 - 1.200 \cdot 11,11}{1.300} = \mathbf{15,27\ m/s}$$

Pero como el conductor del vehículo A frenó antes de la colisión, huellas 40 metros, la velocidad pre-colisión es:

$$Eroz = \mu \cdot m \cdot g \cdot d$$

$$Eroz = 0,60 \cdot 1.300 \cdot 9,81 \cdot 40 = 360.072 \text{ julios}$$

Calculamos la energía cinética post-colisión:

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

$$Ec = \frac{1}{2} \cdot 1.300 \cdot \mathbf{15,27}^2 = 151.560,50 \text{ julios}$$

$$360.072 + 151.560,50 = 511.632,56$$

$$511.632,56 = \frac{1}{2} \cdot 1.300 \cdot v^2 = \mathbf{28,05\ m/s}$$

Deceleración desde que el conductor utilizó el freno hasta el bloqueo de las ruedas (respuesta sistema de frenado 0,20 según tabla página 51)

$$a = \frac{1}{2} \cdot \mu \cdot g$$

$$a = \frac{0{,}60 \cdot 9{,}81}{2} = 2{,}94 \text{ m/s}$$

$$V^1 = Vo + a \cdot t$$

$V^1 = 28{,}05 + 2.94 \cdot 0{,}20 = 28{,}55$ **= 103 km/h** con un error de ± 10 km/h..

8.8.- Colisión frontal: Ejemplo práctico:

El conductor del vehículo **A** realizó una maniobra de adelantamiento, colisionando frontalmente con el vehículo **B,** que circulaba en sentido contrario, a una velocidad manifestada por su conductor de 80 km/h (22,22 m/s).
El conductor del automóvil **A** utilizó el sistema de frenado: huellas 20 m. El vehículo **B**, fue arrastrado hacia atrás, la distancia de 10 m.
Se desea conocer la velocidad que llevaba el vehículo **A.**

Vehículo A: masa: 1.100 kg (tara 1.000 kg. + peso del conductor 80 kg. + equipaje 20 kg.)
Vehículo B: masa 1.400 kg (tara 1.200 kg + peso del conductor 80 kg + carga varias 120 kg.)

Otros datos necesarios:

- Coeficiente de rozamiento de la calzada: 0,60
- Tiempo de reacción del conductor del A: 1 segundo.
- Respuesta de frenos vehículo A: 0,20 segundos

Calculamos la velocidad post colisión, de los dos vehículos en el desplazamiento unidos.
Aplicamos la formula de la energía frenante o de rozamiento, como el caso anterior

$$Eroz = \mu \cdot ma + mb \cdot g \cdot d$$

$$Eroz = 0{,}60 \cdot 1.100 + 1.400 \cdot 9{,}81 \cdot 10 = 147.150 \text{ julios}$$

Calculamos la energía cinética post-colisión

$$Ec = \frac{1}{2} \cdot ma + mb \cdot v^2$$

$$147.150 = \frac{1}{2} \cdot 2.500 \cdot v^2 = 10{,}84 \text{ m/s}$$

Determinamos con la ecuación PCCM la velocidad del vehículo A.

$$V = \frac{Ma \cdot Va + Mb \cdot Vb}{Ma}$$

$$V = \frac{1.100 \cdot 10{,}84 + 1.400 \cdot 10{,}84}{1.100} = 24{,}63 \text{ m/s}$$

Aplicamos la velocidad que llevaba el vehículo **B**, que al llevar distinto sentido irá la ecuación con signo positivo

$$V = \frac{Ma \cdot Va + Mb \cdot Vb}{Ma}$$

$$V = \frac{1.100 \cdot 24{,}63 + 1.400 \cdot 22{,}22}{1.100} = \mathbf{52{,}91 \text{ m/s}}$$

Pero como el conductor del vehículo A frenó antes de la colisión, huellas 20 metros, la velocidad pre-colisión es

$$Eroz = \mu \cdot m \cdot g \cdot d$$

$$Eroz = 0{,}60 \cdot 1.100 \cdot 9{,}81 \cdot 20 = 129.492 \text{ julios}$$

Calculamos la energía cinética post-colisión:

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

$$Ec = \frac{1}{2} \cdot 1.100 \cdot \mathbf{52{,}91}^2 = 1.539.707{,}40 \text{julios}$$

Sumamos las dos energías:

$129.492 + 1.539.707{,}40 = 1.669.199{,}40$

$$1.669.199{,}40 = \frac{1}{2} \cdot 1.100 \cdot v^2 = \mathbf{55{,}08\ m/s}$$

Deceleración desde que el conductor utilizó el freno hasta el bloqueo de las ruedas (respuesta sistema de frenado 0,20 según tabla página 51)

$$a = \frac{1}{2} \cdot \mu \cdot g$$

$$a = \frac{0{,}60 \cdot 9{,}81}{2} = 2{,}94 \text{ m/s}$$

$$V^1 = Vo + a \cdot t$$

$V^1 = 55{,}08 + 2.94 \cdot 0{,}20 = 55{,}66$ **= 200 km/h** con un error de ± 10 km/h..

CAPITULO 9

ATROPELLOS

9.1.- Atropello a peatones y a ciclistas: El presente estudio es aplicable, también, al atropello de ciclistas. En estos accidentes nos podemos encontrar que no existan huellas de frenado; en este supuesto la investigación para calcular la velocidad que llevaba, en el momento del atropello, el vehículo causante, se centraría en medir la distancia que el peatón fue proyectado tras el impacto; midiendo desde el punto de atropello (PA) a la posición final (PF) teniendo en cuenta el coeficiente de rozamiento entre peatón y asfalto (según la correspondiente tabla que más adelante veremos) y la distancia recorrida, por él, en el aire con ayuda de la fórmula de Searles [1]

$$Vminima = \sqrt{\frac{2 \cdot \mu \cdot g\,(S + \mu \cdot H)}{1 + \mu^2}}$$

μ : coeficiente de rozamiento por el asfalto del peatón (lo normal en asfalto seco y prenda no deslizantes es 0,70, según tablas que se insertaran a continuación)
g : aceleración de la gravedad 9,81 m/s²

---

[1] SEARLE, John A, The Physics of throw in accident reconstruction, Sae technical papers, number 930659, 1993

S: distancia recorrida por el peatón tras el atropello.
H: altura máxima del capó medido sobre el vehículo.

Con esta ecuación lo que determinaremos es la velocidad mínima que circulaba el vehículo y salió proyectado el peatón, según ensayos realizados con maniquíes, se le añade un 20% que sería la velocidad del vehículo en el momento del atropello.

9.2.-Tablas de corrección: Para el empleo de la anterior formula utilizaremos las siguientes tablas [1]

Una vez obtenida la velocidad mínima de proyección del peatón, usaremos:

μ	**corrección**
0,20	1,5 %
0;30	2,8 %
0,40	3.9 %
0,50	4,6 %
0,60	4,9 %
0,70	4,8 %
0,80	4,3 %
0,90	3,5 %
1,00	2,5%

Tabla I

Para el coeficiente de rozamiento del cuerpo del peatón sobre el asfalto, emplearemos:

---

1 Escuela de Tráfico de la Guardia Civil.- Temario citado (todas las tablas)

μ	corrección
0,40	- 1,4 %
0,50	- 8 %
0,60	- 3 %
0,70	0 %
0,80	+ 2 %
0,90	+ 3 %
1,00	+ 3 %

Tabla II

Para el ángulo de salida del peatón después del atropello, aplicaremos:

Angulo	Incremento
10º	+ 10 %
20º	+ 4 %
30º	0 %
40º	0 %
50º	+ 4 %
60	+ 10 %

Tabla III

En los tramos de pendiente:

Pendiente	μ 0,20	μ 0,40	μ 0,60	μ 0,70	μ 0,80	μ 1
12,5 %	27 %	14%	10%	8,5 %	7%	6%
6%	15%	7%	5%	4,5%	2%	2%
3%	8%	4%	3%	2,5%	2%	2%

Tabla IV

9.3.- Caso práctico atropello a peatón: Un peatón irrumpe en la calzada con intención de cruzarla, siendo atropellado por el turismo "A" ¿Se desea conocer la velocidad a la que circulaba el vehículo?.

Datos necesarios para el cálculo:
Vehículo "A" masa 1.200 Kg. (tara: 1.100 kg, peso del conductor 80 kg, equipaje 20 Kg.)
Huella de frenada: 20 metros.
Distancia del punto de atropello (PA) a la posición final (PF) 15 metros (S = 15 m)
Altura máxima sobre el capó del vehículo 0,80 metros (H = - 0,80 m) la que es lanzado el peatón; signo negativo al no ser proyectado desde el suelo.
Coeficiente rozamiento de la vía 0,60 (μ)
Coeficiente rozamiento peatón sobre el asfalto 0,70
Pendiente de un 3%

Utilizamos la ecuación:

$$Vminima = \sqrt{\frac{2 \cdot \mu \cdot g\,(S + \mu \cdot H)}{1 + \mu^2}};$$

$$Vminima = \sqrt{\frac{2 \cdot 0{,}70 \cdot 9{,}81\,(15 + 0{,}70 \cdot (-0{,}80))}{1 + 0{,}70^2}};$$

$$Vminima = \sqrt{\frac{13{,}73\,(15 + (-0{,}56))}{1 + 0{,}49}};$$

$$Vminima = \sqrt{\frac{13{,}73\,(15 - 0{,}56)}{1{,}49}};$$

$$Vminima = \sqrt{\frac{13{,}73 \cdot 14{,}44}{1{,}49}};$$

Vminima = $\sqrt{\frac{198,26}{1,49}}$ = $\sqrt{133,06}$ = **11,53 m/s** = 41,50 km/h

Como el peatón pudo rodar por el suelo después del volteo, utilizaremos la tabla I , correspondiéndole el coeficiente de 0,70, la reducción es de 4,8 % :

4,8 % de **11,53** = 0,55
11,53 -0,55 = **10,98** m/s. velocidad mínima.

Tenemos en cuenta el tramo de la vía pendiente ascendente de 3%. Consultamos la tabla IV y al tener un coeficiente de un 0,60 le corresponde un 3%.

3 % de **10,98** = 0,32
10,98 -0,32 = **10,66 m/s**.

Le añadimos el 20% que sería la velocidad del vehículo en el momento del atropello

20% de **10,66** = 2,13
10,66 + 2,13 = **12,79 m/s.**

Sería la velocidad mínima a la que circulaba el turismo; pero al existir huellas de frenada (20 metros) aplicamos la formula, muy utilizada:

Eroz = $\mu \cdot m \cdot g \cdot d$
Eroz = $0,60 \cdot 1.200 \cdot 20$ = 141.264 julios

Calculamos la energía cinética de la velocidad mínima,(12,79 m/s) del vehículo en el momento del atropello

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

$$Ec = \frac{1}{2} \cdot 1.200 \cdot 12{,}79^2 = 98.148 \text{ julios}$$

$$141.264 + 98.148 = 239.412 \text{ julios}$$

Ahora necesitamos conocer a que velocidad equivale esta energía cinética:

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

$$239.412 = \frac{1}{2} \cdot 1.200 \cdot v^2 = 19{,}97 \text{ m/}\mathbf{s} = 72 \text{ km/h.}$$

La deceleración del vehículo al utilizar, su conductor, el freno hasta el bloqueo de las ruedas (según tabla página 51 es de 0,20)

$$a = \frac{1}{2} \cdot \mu \cdot g$$

$$a = \frac{0{,}60 \cdot 9{,}81}{2} = 2{,}94 \text{ m/s.}$$

Aplicamos la ecuación del MRUA

$$V_1 = Vo + a \cdot t$$

$V_1 = 19{,}97 + 2{,}94 \cdot 0{,}20 = 20{,}55$ m/s = 74 km/h ± 10 km/h. Velocidad del vehículo A

Si deseamos conocer la distancia del PPR al PD y al PA, lo calcularemos siguiendo el ejemplo de la pagina 63

9.4.- Caso practico atropello a un ciclista: El vehículo A, atropella a un ciclista que le precedía ¿Cuál era la velocidad que llevaba el turismo ?.

Datos necesarios para su cálculo:

Distancia del PA al PF del ciclista: 30 metros.
Altura del centro de gravedad del ciclista, al plano de la calzada, en el momento del atropello 1,30
Coeficiente de rozamiento ciclista asfalto 0,70
Pendiente ascendente 3%
Velocidad ciclista 8,57 m/s.
Angulo de salida después del atropello 40º

Utilizamos la misma ecuación que para el atropello a un peatón.

$$Vminima = \sqrt{\frac{2 \cdot \mu \cdot g\,(S + \mu \cdot H)}{1 + \mu^2}}$$

$$Vm. = \sqrt{\frac{2 \cdot 0{,}70 \cdot 9{,}81\,(30 + 0{,}70) \cdot (-1{,}30)}{1 + 0{,}70^2}} = \mathbf{16{,}37\ m/s}$$

Como en el supuesto anterior utilizamos la tabla I, correspondiéndole al coeficiente 0,70 un 4,8 %

4,8 % de 16,37 = 0,78
16,37 – 0,78 = 15,59 m/s.

El tramo de la vía según tabla IV le corresponde para un coeficiente de 0,60 un 3%

3% de 15,59 = 0,46

15,59 – 0,46 = 15,13 m/s.

Le sumamos la velocidad del turismo que es superior al 20%, de la mínima calculada, según ensayos efectuados.

20 % de 15,13 = 3,02
15,13 + 3,02 = 18,15 m/s = **65 Km/h**. ± 10 km/h.

Esta sería la velocidad mínima que llevaba el turismo A, en el momento del atropello; pero como el ciclista circulaba a una velocidad de 8,57 m/s, entonces debemos realizar el segundo cálculo, teniendo en cuenta el ángulo de salida de 40º

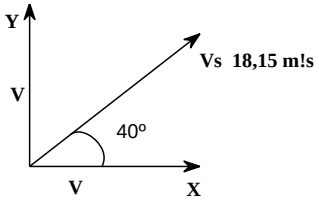


FIG. 19

Vx = 18,15 · cos 40º = 13,90 m/s.
Vy = 18,15 · sen 40º = 11,66 m/s.

Vsalida = 13,90 m/s. V. ciclista = 8,57 m/s.
13,90 – 8,57 = 5,33 m/s.
Calculamos la velocidad resultante:

$V = \sqrt{Vx^2 + Vy^2}$; $V = \sqrt{5{,}33^2 + 11{,}66^2} = 12{,}81$ m/s = 46 km/h. Velocidad mínima de impacto del vehículo al ciclista.

CAPITULO 10

ANALISIS DE LAS DEFORMACIONES

10.1.- Cálculo de la velocidad: La instalación en los automóviles del sistema de frenado ABS, anula las huellas de frenado en el pavimento de la carretera, por ello la investigación para conocer la velocidad que circulaban los vehículos implicados en un accidente, se recurre a la realización de un análisis, completo, de las deformaciones de sus estructuras en la colisión.

En este trabajo utilizaremos la teoría de, los ingenieros norteamericanos, Kenneth L. Campbell y de Raymond R. McHenry, que basaron sus estudios para calcular la resistencia de la carrocería de un vehículo y obtener su coeficiente de rigidez en la realización de ensayos de impacto de un vehículo contra una barrera fija, recibiendo el nombre de: velocidad equivalente en barrera, en inglés EBS (equivalent barrier speed) cuya ecuación es:

$$EBS = \sqrt{\frac{2 \cdot Edef}{m}}$$

Edef: energía de deformación
m : peso del vehículo.

10.2.- Material básico para efectuar las mediciones: para realizar las mediciones de las deformaciones que presentan los vehículos en una colisión, es necesario disponer de : una cámara de fotos, para recoger los daños; una plomada y dos cintas métricas.

10.3.-Forma de realizar las mediciones de la zona deformada: En primer lugar debemos conocer las medidas originales del vehículo que ha resultado con deformación en su estructura; datos que obtendremos de su Tarjeta de Inspección Técnica.
Batalla: 2.600 mm; voladizo anterior: 853 mm; voladizo posterior: 977 mm; longitud 4.430 mm; anchura:1.700 mm

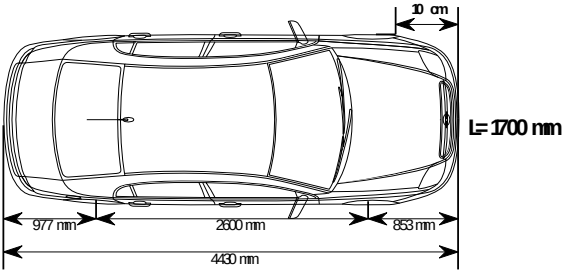


Fig. 20

Haremos las mediciones de la anchura de la zona deformada, es decir, los daños directos: los que se han originados como consecuencia de la colisión con un vehículo u otro objeto; despreciándose sin son menores de 10 centímetros de profundidad los daños inducidos: los que se producen en otra zona de la estructura del vehículo como consecuencia de la deformación de los daños directos. Las mediciones se realizaran a la altura de los parachoques, siempre que no sea una colisión por alcance, contra un vehículo de gran tonelaje

y quede empotrado contra el mismo, en este supuesto si la diferencia de los daños es superior a 10 centímetros se efectuaran varias mediciones a distintas alturas y se tomará la media entre ambas. Las deformaciones se refiere a objetos rígidos, no plástico, ni rejilla cubre radiador etc., de no ser así no se puede aplicar este estudio.

Para las mediciones se tomará una línea de referencia, si es frontal se tomará desde el eje trasero, y si es posterior desde el eje delantero; para ello se trazará dicha línea paralela al citado eje, donde se colocará en el suelo una cinta métrica y con la segunda cinta se hará las mediciones ayudado de una plomada para que coincida con la cinta de referencia, veamos el siguiente ejemplo, utilizando las medidas consignadas en la figura 20.

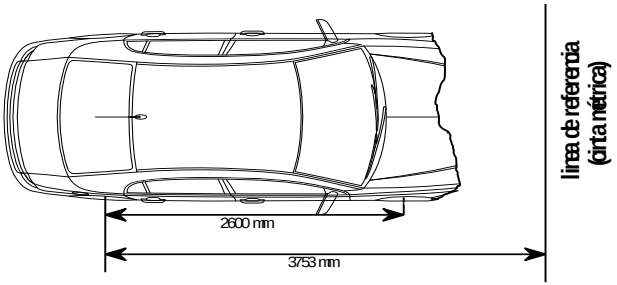


Fig. 21

10.3.1.- Medición de la deformación de la zona frontal: Se pueden realizar 2, 4 ó 6 mediciones de la zona deformada, comenzando de izquierda a derecha.

Ejemplo de 6 mediciones:

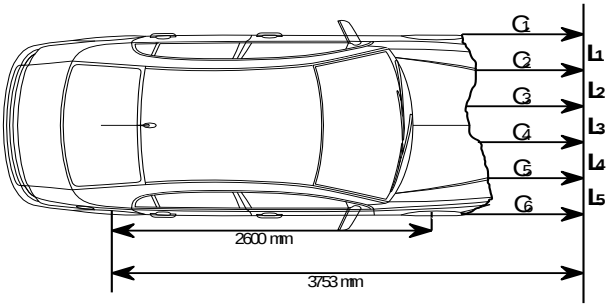


Fig. 22

Intervalo entre mediciones 1,70(anchura vehículo): 5 (L)= 0,34 cm.

10.3.2.-Medición de la deformación de la zona posterior: Igual medidas que el ejemplo anterior, comenzando igualmente de izquierda a derecha.

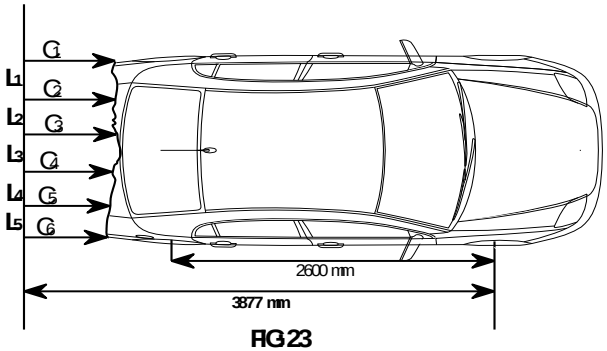


FIG 23

10.3.3.-Mediciones de la deformación lateral: Estas medidas se tomarán desde el suelo, teniendo en cuenta si la estructura del vehículo experimentó un arqueamiento. Se considera arqueamiento siempre que el mismo sea superior a 10 centímetros, en este caso se mide y se suma a las deformaciones., que se hará de la parte posterior a la anterior.

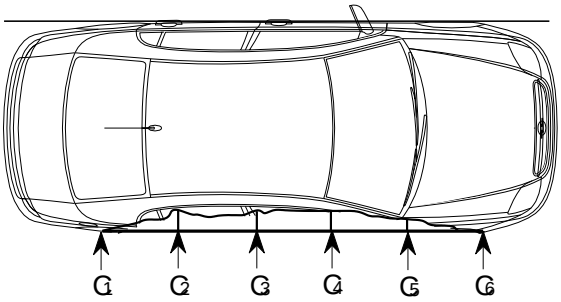


FIG 24

Como se aprecia en la figura 24, se ha trazado una línea siguiendo el lateral izquierdo del vehículo, apreciándose que en este supuesto no ha existido arqueamiento de la estructura.

10.3.4.- Colisiones angulares: Se realizará las mediciones de las deformaciones igual que los casos anteriores, pero teniendo en cuenta la dirección de la fuerza principal de impacto (FPI) en el momento de la colisión, por lo cual calcularemos los grados del ángulo así como su tangente, como se recoge en el siguiente ejemplo:

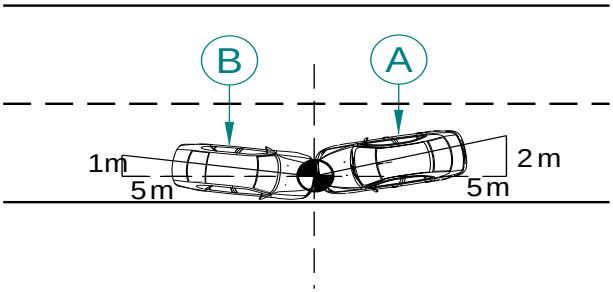


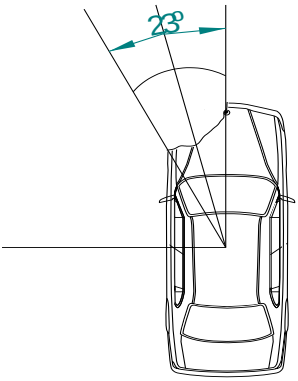
FIG 25

Vehículo A.- tangente de $\alpha = \frac{2}{5} = 0{,}40$ radianes = 23º

Vehículo B.- tangente de $\beta = \frac{1}{5} = 0{,}20$ radianes = 12º

Calculados como se recoge en la página 55.

También podemos calcular los grados del ángulo, con ayuda de una fotografía en planta del vehículo implicado y un transportador de ángulos, ejemplo:



Fg. 25- vehículo A

10.4.- Fórmula que debemos aplicar según el número de mediciones para el cálculo de la energía de deformación:

2 mediciones:

$$L\,[A/2\cdot(C1+C2)+B/6\cdot(C^2 1+C1\cdot C2+C^2 2)+A^2/2\cdot B]$$

4 mediciones:

$$L/3\,[A/2\cdot(C1+2\cdot C2+2\cdot C3+C4)+B/6\cdot(C^2 1+2\cdot C^2 2+2\cdot C^2 3+ C^2 4+C1\cdot C2+C2\cdot C3+C3\cdot C4)+3\cdot A^2/2\cdot B]$$

6 mediciones:

$$L/5\,[A/2\cdot(C1+2\cdot C2+2\cdot C3+2\cdot C4+2\cdot C5+C6)+B/6\cdot(C^2 1+2\cdot C^2 2+2\cdot C^2 3+2\cdot C^2 4+2\cdot C^2 5+C^2 6+C1\cdot C2+C2\cdot C3+C3\cdot C4+C4\cdot C5+C5\cdot C6+5\cdot A^2/2\cdot B]$$

10.5.- Tabla de valores correspondiente a los coeficientes A y B: En las anteriores fórmulas se utilizan dos coeficientes de rigidez de la estructura de un vehículo A y B. Cada uno debería tener su coeficiente, pero debido a la gran cantidad de modelos de automóviles que existen en el mercado, la mayoría de las casas constructoras no han realizado los ensayos correspondientes para calcular el coeficiente que le pertenece, por ello la NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) – Agencia Nacional de Seguridad del Tráfico en Carretera- de los Estados Unidos de América a editado la siguiente tabla de coeficientes para 6 modelos de vehículos teniendo en cuenta sus medidas peso y categoría:

DATOS	*1ª Categoría*	*2ª Categoría*	*3ª categoría*
Batalla (m)	**2,05 a 2,40**	**2,40 a 2,58**	**2,58 a 2,80**
Vía (m)	**1,29**	**1,38**	**1,49**
Longitud (m)	**4,05**	**4,44**	**4,98**
Anchura (m)	**1,54**	**1,70**	**1,84**
Masa (kg)	**990**	**1.380**	**1.600**
Frontal A (N/m)	**52.850**	**45.325**	**55.475**
Frontal B (N/m²)	**323.830**	**296.270**	**385.840**
Trasero A (N/m)	**64.050**	**68.425**	**71.750**
Trasero B (N/m²)	**261.820**	**282.490**	**303.160**
Lateral A (N/m)	**13.475**	**24.500**	**30.275**
Lateral B (N/m²)	**254.930**	**461.630**	**392.730**

DATOS	*4ª Categoría*	*5ª Categoría*	*Furgones*
Batalla (m)	**2,80 a 2,98**	**2,98 a 3,12**	**2,76 a 3,30**
Vía (m)	**1,57**	**1,61**	**1,71**
Longitud (m)	**5,40**	**5,57**	**4,66**
Anchura (m)	**1,95**	**2,01**	**1,98**
Masa (kg)	**1.925**	**2.300**	**1.970**
Frontal A (N/m)	**62.300**	**56.875**	**67.025**
Frontal B (N/m²)	**234.260**	**254.930**	**868.140**
Trasero A (N/m)	**62.475**	**51.975**	**52.500**
Trasero B (N/m²)	**389.570**	**482.300**	**378.950**
Lateral A (N/m)	**25.025**	**30.975**	**- -**
Lateral B (N/m²)	**344.500**	**323.830**	**- -**

Todo lo que se ha explicado lo veremos en el siguiente caso practico; utilizaremos las medidas del vehículo de la figura 20, realizando seis mediciones teniendo en cuenta los coeficientes de rigidez del vehículo en cuestión, sabiendo que su tara es 1.135 kg más el peso del conductor aproximadamente 80 kg nos da un peso de 1.215 kg.. con ayuda de las citadas tablas calcularemos los coeficientes de

rigidez, correspondiéndole según las medidas del vehículo: el de la 2ª categoría y al tratarse de una colisión frontal:

A	45.325 N/m
B	296.270 N/m²

Empleamos para el siguiente supuesto los datos de la figura 22.

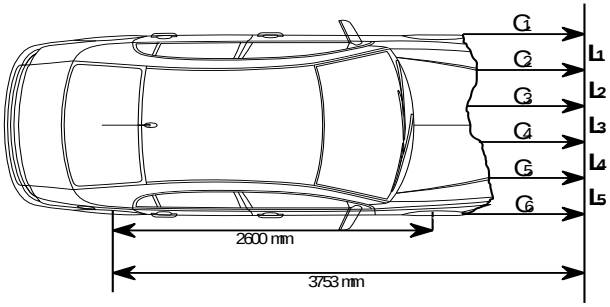


Fig. 22

En las medidas de los extremos C1 y C2 restaremos el ángulo formado por la estructura del vehículo (figura 20) que es 10 centímetros. Otro dato que tendremos en cuenta es que la línea de referencia (figura 22) desde donde se realizan las mediciones, en este caso, según podemos comprobar:

2600 mm + 853 mm = 3453 mm

3753mm – 3453 mm = 300 mm

Estos 300 mm o 30 cm lo restaremos de las mediciones de las deformaciones.

C1 = 60 – 10 = 50 – 30 = 20 cm. = 0,20 m
C2 = 70 – 30 = 40 cm = 0,40 m
C3 = 65 – 30 = 35 cm. = 0, 35 m
C4 = 60 – 30 = 30 cm. = 0,30 m
C5 = 50 – 30 = 20 cm = 0,20 m
C6 = 45 – 10 = 35 – 30 = 5 cm. = 0,05 m
L: Anchura del vehículo que ha resultado con deformación, en este supuesto como es total. 1,70 m.

Aplicaremos la formula :

$$L/5\ [\ A/2 \cdot (C1 + 2 \cdot C2 + 2 \cdot C3 + 2 \cdot C4 + 2 \cdot C5 + C6) + B/6 \cdot (\ C1^2 + 2 \cdot C2^2 + 2 \cdot C3^2 + 2 \cdot C4^2 + 2 \cdot C5^2 + C6^2 + C1 \cdot C2 + C2 \cdot C3 + C3 \cdot C4 + C4 \cdot C5 + C5 \cdot C6 + 5 \cdot A^2 / 2 \cdot B]$$

$$\frac{1,70}{5} \cdot [\ \frac{45.325}{2} \bullet (\ 0,20 + 2 \bullet 0,40 + 2 \bullet 0,35 + 2 \bullet 0,30 + 2 \bullet 0,20 + 0,05)$$
$$+ \frac{296.270}{6} \bullet (\ 0,20^2 + 2 \bullet 0,40^2 + 2 \bullet 0,35^2 + 2 \bullet 0,30^2 + 2 \bullet 0,20^2 + 0,05^2$$
$$+ 0,20 \bullet 0,40 + 0,40 \bullet 0,35 + 0,35 \bullet 0,30 + 0,30 \bullet 0,20 + 0,20 \bullet 0,05) +$$
$$\frac{5 \bullet 45.325^2}{2 \bullet 296.270} = 41.521 \text{ julios}$$

Angulo de la Fuerza Principal de Impacto (página 84), 23º + 12º = 35º

Aplicamos la fórmula: Edef · (1 + tg α)
tg α (35º) = 0,70
41.521 · 1 + 0,70 = 41.522,70julios

Utilizamos la ecuación:

$$EBS = \sqrt{\frac{2 \,.\, Edef}{m}}$$

$$EBS = \sqrt{\frac{2 \,.\, 41.522,70}{1.215}} = 10,77 \text{ m/s} = 38,77 \text{ km/h. velocidad de impacto}$$

con un error de ± 10 km/h.

10.6.- Método analítico de Rudolf Limpert [1]: Este método del ingeniero estadounidense, perteneciente a la NHTSA, con más de 3.500 accidentes reconstruidos, se utiliza para comprobar los resultados obtenidos con otros métodos. A continuación se recogen las diferentes ecuaciones, según el tipo de colisiones y vehículos:

10.6.1.- colisión frontal:

Turismo pequeño:

$$Vcol(m/s) = -5{,}18 + 23{,}55 \sqrt{Dmed(m) + 0{,}048} \pm 4{,}4 \cdot Dmed.$$

Turismo medio:

$$Vcol = -6{,}34 + 26{,}36 \sqrt{Dmed + 0{,}066} \pm 4{,}4 \cdot Dmed.$$

Turismo grande:

$$Vcol = -10{,}10 + 30{,}85 \sqrt{D\ med + 0{,}106} \pm 4{,}4 \cdot Dmed.$$

10.6.2.-Colisión parte posterior (todos los turismos)

$$Vcol = 19{,}94 \cdot Dmed + 1{,}19 \pm 4{,}4 \cdot Dmed.$$

10.6.3.- Colisión lateral (todos los turismos)

$$Vcol = 24{,}63 - 131{,}26 \sqrt{Dmed - 3{,}53} \pm 4{,}4 \cdot Dmed.$$

10.6.4.- Colisión de una motocicleta contra el lateral de un turismo:(aplicable para velocidad superior a 25 km/h)

$Vm = 38{,}6 \cdot b + 4{,}6$

Vm: velocidad motocicleta en m/s.

b : batalla; reducción de la misma por la colisión, en metros

---

[1] LIMPERT, Rudolf, Obra citada

CAPITULO 11

HUELLAS DE DERRAPE

11.1.- Cálculo de la velocidad: El procedimiento para calcular la velocidad por la longitud de las huellas de derrape, es completamente diferente al utilizado para el cálculo de las huellas de frenado, como veremos a continuación:

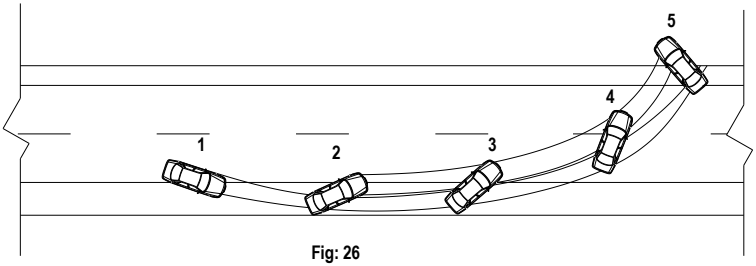
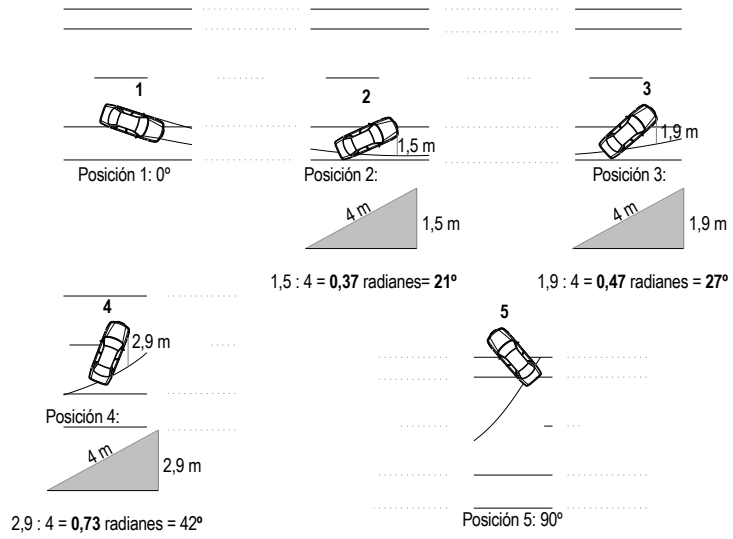


Fig: 26

En este supuesto observamos las huellas de derrape en la calzada, en una longitud de 80 metros y la trayectoria del vehículo en sus diferentes posiciones hasta llegar a la fase final, que se han obtenido al situar cada huella con su correspondiente neumático. El siguiente paso es calcular el seno del ángulo que forma el vehículo, en su desplazamiento, en sus cinco posiciones descritas.



4 m = longitud vehículo

Posición 1: ángulo 0 º , seno =	0,00
Posición 2: ángulo 21º, seno =	0,35
Posición 3: ángulo 27º, seno =	0,45
Posición 4: ángulo 42º, seno =	0,66
Posición 5: ángulo 90º, seno =	1,00
SUMA	2,46

μ : coeficiente de adherencia de la calzada es de 0,60.

Para conocer el coeficiente de deslizamiento lateral, aplicamos la siguiente ecuación [1]

$$\mu' = \frac{\mu \cdot \Sigma \text{ sen. } \alpha}{n}$$

---

[1] ANCE, Luis Marcelo, Cálculo de velocidad en base a huellas de derrape, Congreso Iberoamericano de accidentologia vial, Avellaneda (Argentina) Octubre 2003

$\mu' = \frac{0,60 \cdot 2,46}{5} = 0,29$

Aplicamos la ecuación de la energía de rozamiento:

$E_{roz} = \mu \cdot m \cdot g \cdot d$

μ : 0,29
m : masa del turismo: 1.200 kg.

Tara……	1.100 kg.
Peso del conductor, único ocupante……..	80 "
Peso del equipaje…….	20 "
TOTAL…..	1.200 kg.

g: aceleración de la gravedad 9,81 m/s²
d : longitud huellas de derrape : 80 metros.

$E_{roz} = 0,29 \cdot 1.200 \cdot 9,81 \cdot 80 = 273.110,40$ julios

Utilizamos la fórmula de la energía cinética

$E_c = \frac{1}{2} \cdot 1.200 \cdot v^2$

$273.110,40 = \frac{1}{2} \cdot 1.200 \cdot v^2$

$v = \sqrt{455,18} = 21,33$ m/s = **76,80 km/h. ±** 10% de error

Si le diéramos el tratamiento como el de una huella de frenado, cometeríamos un error, pues resultaría una velocidad de :
Eroz: $0,60 \cdot 1.200 \cdot 9,81 \cdot 80 = 565.056$

$E_c = \frac{1}{2} \cdot 1.200 \cdot v^2$; $v = \sqrt{941,76} = 30,68$ = **110,40 km/h.**

CONCLUSIONES

En este manual de trabajo, se ha recogido las formulaciones necesarias, para que el investigador de accidentes de tráfico, realice la confección del informe técnico relativo a la velocidad que llevaban los vehículos implicados en el siniestro. Pero si en el transcurso de la investigación se presenta alguna duda, no recogida en este trabajo, o estando no se adapta a su caso concreto, debe consultar con una persona cualificada en el tema, de no ser posible se omitirá dicho informe para no perjudicar a las partes implicadas.

En la actualidad – como es sabido – existen en el mercado programas informáticos de reconstrucciones de accidentes que realizan, dicho trabajo con una mayor rapidez y fiabilidad; incluyendo una película de animación en 3 dimensiones, con las imágenes creadas en soporte digital que reproducidas a una velocidad de 30 por segundo, confiere una gran realismo en los movimientos de los vehículos previo a la colisión, dando la sensación de estar presenciando en directo el accidente.

La reconstrucción virtual se viene realizando en nuestro país desde el año 1986 y fue el Centro de Experimentación y Seguridad vial Mapfre (CESVIMAP) el primero en presentarlo, en formato 2 D, en un Tribunal de Justicia.

En la reconstrucción de accidentes de tráfico, además de la policía especializada, intervienen compañías aseguradoras e investigadores privados y puede generarse en personas carente de una ética profesional un interés económico, llegando de forma intencionada a la manipulación de los medios informáticos empleados, por ello dichos estudios deben de estar avalado por un informe de los cálculos de velocidad efectuado manualmente; para confiarle más fiabilidad al programa utilizado, disipando toda duda de una manipulación del mismo.

APENDICE

Fórmulas utilizadas para el cálculo de velocidad:

Movimiento uniforme	$e = v \cdot t$ $v = e/t$ $t = e/v$
Movimiento uniforme, acelerado sin velocidad inicial	$v = a \cdot t$ $a = v/t$ $t = v/a$
Velocidad en el movimiento acelerado	$v = Vo \pm a.\ t$ $a = \frac{V \pm Vo}{t}$ $t = \frac{V \pm Vo}{a}$
Espacio en el movimiento acelerado, con velocidad inicial	$e = Vo.t + \frac{1}{2}\ a.t^2$
En reposo	$e = \frac{1}{2}\ a \cdot t^2$
Velocidad en función del espacio	$e = V^2 / 2.\ a$ $a = V^2 / 2.\ e$ $v = \sqrt{2.\ a \cdot e}$
Fuerza de la inercia	$Fi = m \cdot a$
Fuerza centrifuga	$Fc = \frac{m \cdot v^2}{R}$
Velocidad a la que se origina el derrape en curva, resultado en Km/h.	$V = \sqrt{\frac{R.\ \mu + p}{1 - \mu \cdot p}}$

Velocidad a la que se origina el vuelco en curva en km/h	$V = 11{,}3 \quad R \dfrac{p + \frac{n}{2h}}{1 - \frac{n}{2h} \cdot p}$
Radio de una curva	$R = \dfrac{C^2}{8M} + \dfrac{M}{2}$
Fuerza gravedad, movimiento parabólico	$e = v \sqrt{\dfrac{2h}{g}}$ $h = \frac{1}{2}\, g.\, t^2$ $t = \sqrt{\dfrac{2h}{g}}$ $v = \dfrac{e}{\sqrt{2h/g}}$
Movimiento parabólico	$e = \dfrac{vo^2 \,.\, \operatorname{sen} 2\alpha}{g}$
Energía cinética	$Ec = \frac{1}{2}.\, m.\, v^2$
Energía potencial	$Ep = m \,.\, g.\, h$
Energía de rozamiento	$Eroz = \mu \,.\, m \,.\, g \,.\, d$
Energía de rotación	$Erot = \frac{1}{2} \,.\mu\, .m.\, g \,.\alpha.\, b$
Principio de la conservación de la cantidad de movimiento	$m^1 \,.\, v^1 + m^2 \,.v^2 =$ $m'^1 \,.\, v'^2 + m'^2 \,.\, v'^2$
Fórmula atropellos, velocidad minima	$V = \sqrt{\dfrac{2.\, \mu.\, g\, (S + \mu.\, h}{1 + \mu^2}}$
Velocidad equivalente en barrera	$EBS = \sqrt{\dfrac{2.\, Edef}{m}}$

Datos a tomar de un vehículo para la realización del estudio de deformaciones:

Longitud total	m
Achura	m
Altura	m
Vía delantera	m
Vía trasera	m
Batalla	m
Voladizo anterior	m
Voladizo posterior	m
Redondez de los vértices	m
Peso aproximado pasajeros	Kg
Peso aproximado equipaje	Kg
Tara	kg
C1	cm
C2	cm
C3	cm
C4	cm
C5	cm
C6	cm
Anchura deformación (L)	m
Deformación máxima	cm
Equidistancia mediciones	cm

Indice de carga que puede soportar un neumático

Código	kilos	Código	kilos
70	335	90	600
71	345	91	615
72	355	92	630
73	365	93	650
74	375	94	670
75	387	95	690
76	400	96	710
77	412	97	730
78	425	98	750
79	437	99	775
80	450	100	800
81	462	101	825
82	475	102	850
83	487	103	875
84	500	104	900
85	515	105	925
86	530	106	950
87	545	107	975
88	560	108	1.000
89	580	109	1.030

BIBLIOGRAFIA

ALBA LOPEZ, Juan José; IGLESIAS PULLA, Alberto y ARAGUAS VINAO, Joaquín. *Accidente de Tráfico*: *Introducción al análisis de deformaciones*, Grupo de Seguridad Vial y Accidentes de Tráfico de la Universidad de Zaragoza, copy center 2001.

ALVAREZ MANTARAS, Daniel; LUQUE RODRIGUEZ, Pablo y GONZALEZ-CARVAJAL GARCIA, Juan Manuel. *Investigación de Accidentes de Tráfico. La toma de datos*, Thomson-Paraninfo editores, Madrid, 2005.

ANCE, Luis Marcelo, *Cálculo de velocidad en base a huellas de derrape*, Congreso Iberoamericano de accidentología vial, Avellaneda (Argentina) Octubre 2003.

BAKER, J.Stannard y Fricke, Lynn B. *Manual de Investigación de accidentes de tráfico*, edición Nortkwestern University, en lengua española, Evanston, Illinois (EE.UU),2002.

BORREL VIVES, Joaquín; ALGABA GARCIA, Pedro y MARTINEZ RAPOSO PIEDRAFITA, Juan B. *Academia de Tráfico de la Guardia Civil, Investigación de accidentes de tráfico*, Edición Dirección General de Tráfico.,Madrid, 2000.

BURBANO DE ERCILLA, Santiago; BURBANO GARCIA, Enrique. *Física General*, Editorial Librería General. Zaragoza, 1986.

CASTRO VICENTE, Miguel de. *Frenos y suspensión* Enciclopedia del camión, Ediciones Ceac. Barcelona, 1994.

CESVIMAP (Centro de Experimentación y Seguridad vial Mapfre). *Fundamentos físicos para la reconstrucción de accidentes de tráfico*, Avila, marzo 1991.

ESCUELA DE TRAFICO GUARDIA CIVIL, *Temario de Investigación y reconstrucción de accidentes de tráfico*, III seminario de actualización para componentes de la modalidad de atestados, Mérida,(Badajoz) 2005.

GARCIA, Aníbal Oscar, *Fraude informático en la reconstrucción de siniestros viales*, Segundo seminario de investigación directa y pericia de fraudes del seguro y accidentología vial, Buenos Aires (Argentina) 8 y 9 de Septiembre de 2005.

INSTITUT CATALÁ DE SEGURETAT VIARIA DE LA GENERALITAT DE CATALUNYA, *La Reconstrucció de l´accident de trànsit*., Barcelona, 1992.

LIMPERT, Rudolf, *Motor vehicle reconstruction and análisis* Editor Michi-Company,Charlottesville, EE.UU,2005

LOPEZ MUÑIZ –GOÑI, Miguel. *Accidentes de tráfico, problemática e investigación*, Editorial Colex.,Madrid,1995

ORDEN MINISTERIAL 12-12-2003. *Instrucciones de construcción y rehabilitación de firmes y pavimentos.*

POSTIGO, Luis. *Matemáticas*. Editorial Ramón Sopena, Biblioteca Hispania.. Barcelona,1971.

RODRIGUEZ , José Ignacio, *Recontrucción virtual de accidentes,* Revista Tráfico, mayo-junio, 1998

SINTES OLIVES, Francisco. *Física general aplicada*. Editorial Ramón Sopena, Biblioteca Hispania,. Barcelona 1969.