

## **SEGUNDA PARTE**

### **ORGANIZADOR AVANZADO A LA SEGUNDA PARTE.**

#### **TEMA XV**

#### **TÍTULO:     **METODOLOGÍA Y TOMA DE DATOS PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁFICO-I.****

##### **A.- ESQUEMA:**

##### **15.1.- FASES DE LA INVESTIGACIÓN. LA RECONSTRUCCIÓN.**

##### **15.2.- LA INFORMACIÓN: OBSERVACIÓN, RECOGIDA Y REGISTRO.**

###### **15.2.1.- OBSERVACIÓN.**

###### **15.2.2.- RECOGIDA Y REGISTRO DATOS INFORMACIÓN.**

##### **15.3.- Primero.- TEORÍA DE LA EVOLUCIÓN DEL ACCIDENTE (TEA)**

###### **15.3.1.- LA CADENA DE SUCESOS.**

###### **15.3.1.1.- El peligro.**

###### **15.3.1.2.- La invasión.**

###### **15.3.1.3.- La decisión.**

###### **15.3.1.4.- La acción evasiva.**

###### **15.3.1.5.- Posición clave.**

###### **15.3.1.6.- Contacto inicial.**

###### **15.3.1.7.- Máximo enganche.**

###### **15.3.1.8.- Desenganche.**

###### **15.3.1.9.- Posición final.**

###### **15.3.2.- LA POSICIÓN.**

###### **15.3.2.1.- Posición (“punto”) de percepción posible (PPP).**

###### **15.3.2.2.- Posición (“punto”) de percepción real (PPR).**

###### **15.3.2.3.- Posición (“punto”) de decisión (PD).**

###### **15.3.2.4.- Posición (“punto”) clave (PCL).**

###### **15.3.2.5.- Posición (“punto”) de conflicto (PC).**

###### **15.3.2.6.- Posición (“punto”) final (PF).**

###### **15.3.3.- INVESTIGACIÓN ENTRE POSICIONES:**

###### **15.3.3.1.- *Distancia entre puntos de percepción.***

###### **15.3.3.2.- *De la percepción real a la decisión.***

###### **15.3.3.3.- *De la decisión a la posición clave.***

###### **15.3.3.4.- *De la posición clave al conflicto.***

###### **15.3.3.5.- *Entre el conflicto y la posición final.***

###### **15.3.4.- FASES DEL ACCIDENTE.**

###### **15.3.4.1.- Fase de REACCIÓN**

###### **15.3.4.1.1.- *El tiempo de reacción.***

###### **15.3.4.2.- Fase de DECISIÓN**

###### **15.3.4.2.1.- *Maniobra de evasión***

###### **15.3.4.3.- Fase de CONFLICTO**

###### **15.3.5.- ÁREAS DEL ACCIDENTE.**

###### **15.3.5.1.- Área de PERCEPCIÓN**

###### **15.3.5.2.- Área de MANIOBRA**

#### 15.3.5.3.- Área de CONFLICTO

**ORGANIZADOR AVANZADO.** En esta Segunda Parte, después de conocer las Fases de la Investigación para la Reconstrucción del Accidente y los Fundamentos Físicos para la Reconstrucción, pasaremos a las Aplicaciones Informáticas en la Reconstrucción, para terminar en la consideración del Incendio en el Accidente de Tráfico.

### **TEMA XV**

#### **TÍTULO: METODOLOGÍA Y TOMA DE DATOS PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁFICO-I.**

#### **B.- DESARROLLO:**

##### **15.1.- FASES DE LA INVESTIGACIÓN EN EL PROCESO DE LA RECONSTRUCCIÓN.**

Aunque es generalizada la idea entre los investigadores de que la Investigación en sentido amplio puede comprender *cinco fases*, considero no obstante, que las dos primeras, la *Observación* y la *Recogida y Registro de Datos*, son las dos caras de la misma moneda, así como que hay razones prácticas suficientes – baste pensar que, al mismo tiempo que se observa, para no confiar en la memoria, debe inexcusablemente procederse al registro de los datos obtenidos- para agruparlas en una sola que quedaría definida por la de “*La Información*” y por tanto las fases quedarían reducidas a *cuatro*, a saber:

- |                 |   |
|-----------------|---|
| <u>Primera.</u> | LA INFORMACIÓN. <i>Observación, Recogida y Registro de Datos.</i>             |
| <u>Segunda.</u> | INVESTIGACIÓN TÉCNICA. <i>Verificación sistemática.</i>                       |
| <u>Tercera.</u> | RECONSTRUCCIÓN DEL ACCIDENTE. <i>Primer análisis de la Información.</i>       |
| <u>Cuarta.</u>  | ANÁLISIS DE LAS CAUSAS. <i>Segundo análisis de la Información. El Método.</i> |

##### **15.2.- LA INFORMACIÓN: OBSERVACIÓN, RECOGIDA Y REGISTRO DE DATOS.**

15.2.1.- OBSERVACIÓN. Desde el mismo momento en que el Investigador se aproxima al lugar escenario de los hechos, estaciona su vehículo a ser posible fuera de la calzada y en todo caso donde menor sea el riesgo de producir un obstáculo añadido al evento, pasando por la urgente tarea de evitar que el accidente adquiriera mayores proporciones de las que ya tiene, asistencia y evacuación, cuando proceda, de heridos, y en su caso de regulación de tráfico, no desdeñará el fijarse y tomar nota mental de:

A.- Cuantas huellas y vestigios se encuentren en sus proximidades, principalmente las ubicadas sobre la vía, así como cuando estas sean efímeras o corran riesgo de perderse al ser borradas en las tareas de asistencia y evacuación de personas.

B.- De las posiciones finales de las unidades de tráfico y elementos análogos implicados en el accidente.

C.- De cuantas expresiones anímicas o verbales pueda captar de conductores, usuarios, testigos, y en general, de cuantas “sensaciones”, “vivencias” o “intuiciones” que como “testigo privilegiado” de esa situación, puedan llegar a sus sentidos en esos primeros momentos post-accidente.

15.2.2.- **RECOGIDA Y REGISTRO DE DATOS DE INFORMACIÓN.** Resueltas las primeras actividades que el “protocolo de intervención” asigna como prioritarias en los primeros momentos después del accidente, se inicia la recogida y registro de datos de información, momento en el que al investigador le surgen dos cuestiones fundamentales, ¿qué datos debe recoger?, y sobre todo, ¿de dónde y cómo los va a obtener?.

15.2.2.1.- **¿Qué datos se deben recoger?** En principio se deben recoger cuantos datos de información den respuesta a las siguientes preguntas:

- **¿Dónde?** Se ha producido el accidente, es decir el lugar del accidente, evidentemente referido a la vía, carretera o calle, km. o número, término municipal y partido Judicial.
- **¿Cuándo?** Se ha producido el accidente. Lo que nos llevará a averiguar la hora y fecha, así como a cuales eran las condiciones ambientales y atmosféricas en dichos momentos sobre la vía.
- **¿Quién?** Está implicado en el accidente y por ello puede haber resultado herido, o fallecido, así como perjudicado en sus bienes como consecuencia del evento; o se encuentra bajo los efectos del alcohol u otras sustancias que pueden influir en la conducción.
- **¿Qué?** Vehículo, bien material o animal, puede haber resultado dañado o afectado con el accidente y quién es su titular.
- **¿Cómo?** se produjo el accidente, es decir, cuál es el tipo o clase de accidente según la clasificación normativa a efectos estadísticos.
- **¿Porqué?** Se produjo el accidente, o lo que es lo mismo, cuál es *la causa* que lo ha motivado, y no *un efecto* de la causa, (**v. gr.:** *invadir la izquierda*), sino una verdadera causa, y además no una causa genérica (**v. gr.:** *por distracción del conductor*) sino una causa concreta y precisa, pues concreta y precisa ha de ser la medida preventiva, si quiere ser eficaz (**v. gr.:** *distracción del conductor, consistente en atender el teléfono móvil con la mano derecha, mientras mantenía una conversación y conducía con la mano izquierda*).

15.2.2.2.- **Método de la obtención de datos.** ¿De dónde y cómo se deben recoger?. Para obtener esos datos, y no olvidar parte de ellos, es imprescindible un método o forma ordenada de llevar a cabo la recogida de datos, y ese método nos marca el siguiente proceso:

### 15.3.- Primero.- TEORÍA DE LA EVOLUCIÓN DEL ACCIDENTE (TEA).

15.3.1.- **LA CADENA DE SUCESOS.** Cuando se investiga un accidente, hay que partir de las distintas fases individuales que lo integran. Por ello, el accidente puede definirse, además de cómo ya lo conocemos, como “*una serie de sucesos imprevistos que acaban en lesiones o daños*”. Como decía Stannard Baker “*normalmente, un suceso conduce a otro*”. Algunos de estos hechos ocurren en todos los accidentes; otros raramente. Conozcamos algunos de los eslabones de la cadena:

15.3.1.1.- **El peligro.** Percibir el peligro es ver, oír, presentir o comprender la situación imprevista o inesperada que pudiera tomarse como indicio de que está a punto de producirse un accidente.

15.3.1.2.- **La invasión.** Acto de ocupar el espacio destinado a otra *unidad de tráfico*. La *invasión* la puede realizar tanto el vehículo cuando cruza la línea de separación de carriles, calzadas o paso de peatones, como el peatón cuando ocupa la calzada destinada a los vehículos.

15.3.1.3.- **La decisión.** Reflexión que realiza el hombre (conductor o peatón), para decidir qué acción evasiva llevar a cabo, para soslayar el peligro.

15.3.1.4.- **La acción evasiva.** Primera acción realizada por una *unidad de tráfico* para eludir una colisión o evitar un peligro. Es la *reacción* del conductor o peatón a su percepción y constituye el término de su *tiempo de reacción*.

15.3.1.5.- **Posición clave.** Posición a partir de la cual el único y posible resultado positivo de la acción evasiva será conseguir minimizar las consecuencias del accidente.

15.3.1.6.- **Contacto inicial.** Es el primer contacto accidental de una *unidad de tráfico* en movimiento con otra o con un elemento análogo u objeto.

15.3.1.7.- **Máximo enganche.** Es el contacto o solape máximo en una colisión.

15.3.1.8.- **Desenganche.** Separación de la *unidad de tráfico* en movimiento de la otra, elemento análogo u objeto con que colisionó.

15.3.1.9.- **Posición final.** Es el punto de reposos de las *unidades de tráfico* que intervinieron en el evento.

15.3.2.- **LA POSICIÓN.** Nos planteará desde un punto de vista teórico, el desarrollo secuencial que se produce en la inmensa mayoría de los accidentes, independientemente de que en ciertos casos, algunas de estas secuencias se solapen entre sí hasta dar la sensación práctica de que no se han producido en un accidente en concreto, y en otro tipo de accidentes, raramente se produzca alguna de ellas. Y además, nos proporcionará una abundante batería de preguntas sobre *comportamientos, condiciones, actos o negligencias* para las que habremos de buscar respuesta en la Inspección Ocular, Testimonios, Plan de Viaje y Otras fuentes de información. El accidente, a pesar de su rapidez, no se produce de una manera instantánea sino que sufre una evolución que se desarrolla en *el tiempo* y en *el espacio*.

A.- **El tiempo** durante el cual se lleva a cabo el *desarrollo del accidente*, ha de ser reconstruido *secuencialmente* a base de: “**MOMENTOS**” en los que las personas que intervienen en el accidente *han debido de obrar de una manera determinada*, y será labor del investigador averiguar si lo han hecho o no, y si lo han hecho, de qué manera.

B.- En **el espacio**, es decir tramo de vía en el que *se desarrolla el accidente*, existirán *lugares, “Posiciones”, “fases”, “áreas”,* en las que los hechos se producen y, dentro de ellas, determinados: “**PUNTOS**”, lugar en *donde situar acciones concretas* y base fundamental para la reconstrucción de accidentes por la Teoría de la Evolución de éstos.

C.- **La Posición.** El conjunto de un “*momento*”, es decir, *tiempo* en el que el **HOMBRE** ha debido obrar de una manera determinada, y lo ha hecho o no, y un “*punto*”, *espacio físico* donde situar acciones concretas, será la “**POSICIÓN**”. La unión de varias posiciones dará lugar a una “*fase*” del accidente. Varias fases formarán un área y la unión de todas ellas nos dará la zona del accidente.

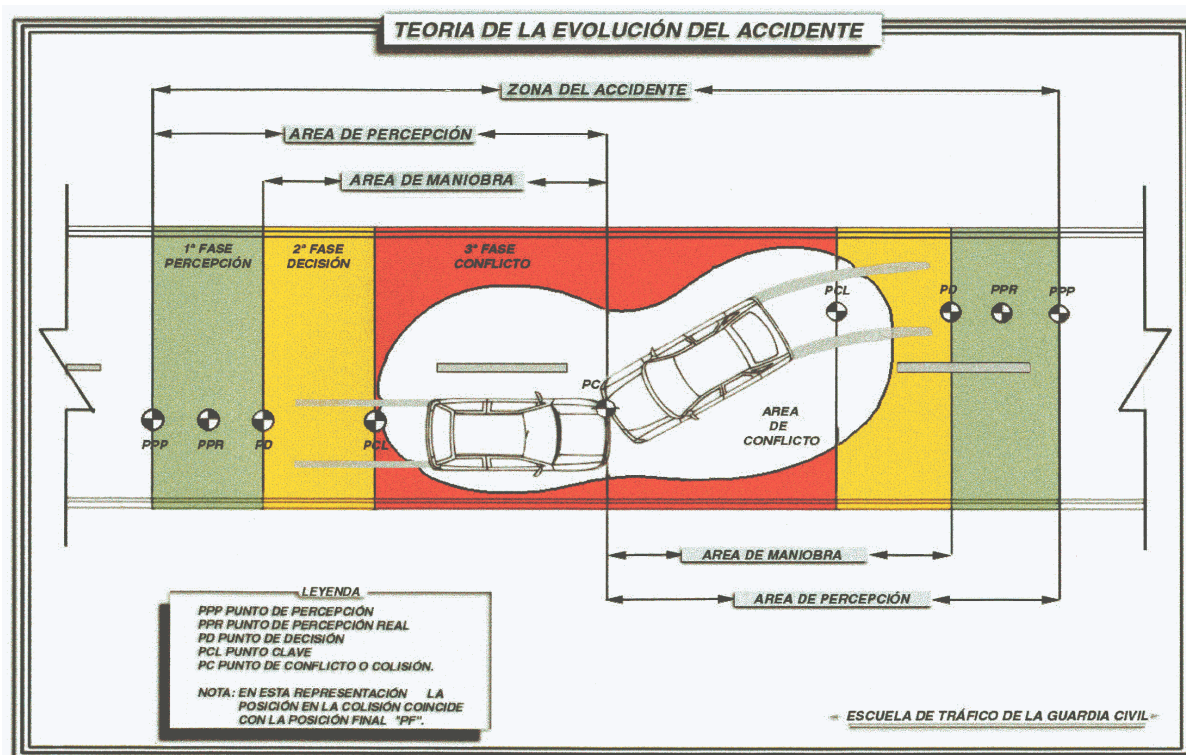


Gráfico 12. Gráfico de la Teoría de la Evolución del Accidente

Dentro de la Teoría de la Evolución del accidente, y recogidos en la Diligencia de inspección Ocular del Atestado y en el Punto 7 del Informe Técnico, *se puede considerar a las posiciones o "puntos" como los elementos más determinantes de la investigación de accidentes*, conociéndose como tales a los siguientes:

**15.3.2.1.- Posición ("punto") de percepción posible (PPP).** Llamamos como tal al *momento(tiempo) y lugar (punto) donde el movimiento o condición inesperada o extraordinaria* (concretamente la que se produjo en el accidente motivo de la investigación y no cualquier otra, genéricamente considerada, cuasiaccidente o incidente) *puede haber sido percibido por una persona normal* (persona habilitada para la conducción y que por tanto ha superado las pruebas y aptitudes -psicofísicas- para la obtención del Permiso de Conducir, y que además, se encuentra "libre" de la "influencia o efectos" de "sustancias extrañas" o enfermedades súbitas). Generalmente el PPP es objetivo y se podrá comprobar sobre el terreno en la inspección ocular, describiéndolo con respecto al eje longitudinal de la calzada y expresando la distancia que lo separa del Punto de Conflicto.

**15.3.2.2.- Posición ("punto") de percepción real (PPR).** Considerándolo como el *momento(tiempo) y lugar(punto) en el cual el conductor o peatón percibió realmente por primera vez el peligro o la situación anormal*. El PPR es subjetivo y por tanto difícilmente determinable. Este punto puede coincidir con el PPP en el caso de que el conductor vaya atento a las exigencias del Sistema. En el caso de que sea posible saber la velocidad inicial mediante cálculos dinámicos, por la presencia de huellas de frenada, deslizamiento, energía de deformación, principio de conservación de la cantidad de movimiento, etc., se podrá, según los casos, determinar de una forma científica y por tanto objetiva.

**15.3.2.3.- Posición ("punto") de decisión (PD).** Aquel *momento(tiempo) y lugar (punto) en el que el conductor o el peatón reacciona ante el estímulo exterior* (tratado más adelante como *tiempo de reacción*), es decir, inicia la decisión que ha adoptado, generalmente en forma de maniobra evasiva. Fácilmente determinable, mediante cálculos físico-dinámicos, cuando exista huella de frenada previa al conflicto.



15.3.2.4.- **Posición (“punto”) clave (PCL).** Se entiende que es aquél *momento* (tiempo) y *lugar* (punto) en el cual el accidente resulta inevitable, es decir, el accidente se producirá ya independientemente de la voluntad del hombre. Es determinable en función de la posibilidad de practicar cálculos físico-dinámicos.

15.3.2.5.- **Posición (“punto”) de conflicto (PC).** Entendemos por tal a aquel *momento* (tiempo) y *lugar* (punto) en el que se consuma el accidente y que necesariamente estará, en la mayoría de las ocasiones, localizado sobre la plataforma. Generalmente es de fácil localización (por las huellas y/o vestigios que sobre la misma se pueden observar).

15.3.2.6.- **Posición (“punto”) final (PF).** Es aquella que adoptan las personas, vehículos y objetos cuando llegan a la inmovilidad tras el evento (En el gráfico que se expuso en la transparencia anterior, por economía de espacio, sencillez del dibujo y respeto de la teoría pura de la evolución del accidente, se considera como posición final a la coincidente con la de conflicto, no obstante en la siguiente transparencia, dichas posiciones adoptan, como caso práctico de desarrollo de dicha teoría, un resultado final semejante al de la inmensa mayoría de accidentes).

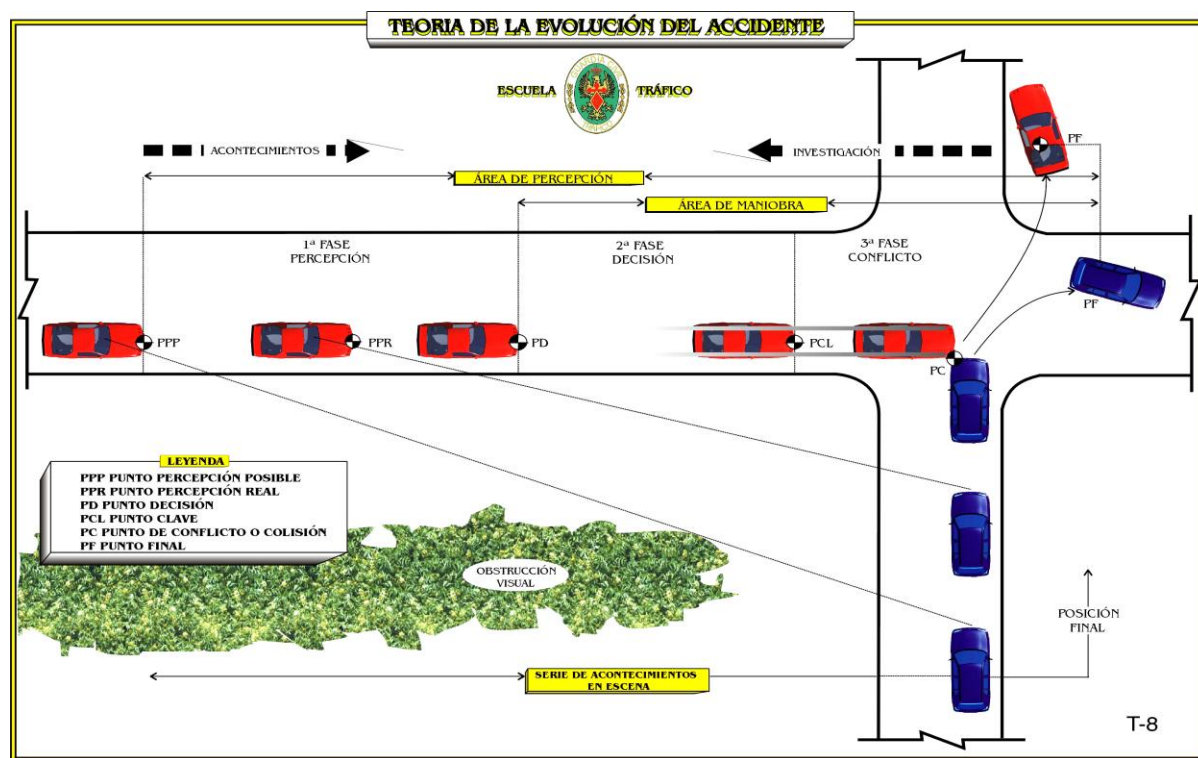


Gráfico 13. Gráfico de la Teoría de la Evolución del Accidente

### 15.3.3.- INVESTIGACIÓN ENTRE POSICIONES:

15.3.3.1.- **Distancia entre puntos de percepción.** Sobre la base de la *distancia*, en el *tiempo* y en el *espacio*, existente entre el/la PPP y el/la PPR, el investigador tiene un *INTERVALO* para:

- la investigación psíquica y somática de los agentes intervinientes, y
- la investigación física de las condiciones ambientales.

La diferencia entre la POSICIÓN correspondiente al punto de percepción posible PPP y a la del real PPR, nos determinará el:

- grado de atención,
- la posibilidad de maniobra.

Si dicha distancia es grande, cabe pensar con muchas posibilidades de acierto, que el conductor iba **DISTRAÍDO** (*distracción*) por cualquier *motivo* que hay que intentar buscar: *fatiga, sueño, cansancio, alcohol, drogas, medicamentos, enfermedad, charla o disputa con sus acompañantes, realización de una actividad de distracción (atender el teléfono móvil, radiocasete, encender un cigarrillo, etc.), etc.*

En la investigación de este **INTERVALO**, en el *tiempo* y en el *espacio*, además de recabar, cuando fuere necesario, *datos médicos* con finalidad de investigar psíquica y físicamente al elemento humano, a través de los testimonios el investigador necesitará información sobre las condiciones ambientales y, sobre todo, con respecto al *grado de atención en el momento de encontrarse en la PPP*, para lo cual, formulará preguntas del tipo siguiente:

- “*Cuál fue el primer momento y lugar en que (el conductor o peatón) tuvo conciencia del peligro*”(Punto de Percepción Real, -PPR-, en la Evolución del accidente),
- “*A cuanto, o cómo, cree Vd., que circulaba (Referido a su velocidad)*”,
- “*Hacia dónde prestaba su atención, en ese <momento>*”.

**15.3.3.2.- De la percepción real a la decisión.** Sobre la base de la *distancia (INTERVALO)* entre la posición del PPR y la del PD, se debe:

- *investigar psíquica y somáticamente al conductor, insistiendo en sus conocimientos, experiencia y reflejos.*

Si esta distancia es grande, habremos de pensar en unas *reacciones lentas, poco enérgicas, fundadas en una demora en adoptar una decisión o en ejecutarla* (intelección o volición), pensemos v. gr., en la posible influencia, de retardo, que tiene el alcohol sobre el **HOMBRE**. No cabe ahora pensar en distracciones, pues ya hemos superado el PPR y por tanto el peligro ya ha sido visto.

**15.3.2.3.- De la decisión a la posición clave.** Entre la *posición* del PD y la PCL, se llevan a cabo las *Maniobras Evasivas* con el fin de evitar el resultado dañoso o minimizar sus consecuencias.

*El investigador debe estudiar aquí:*

- *la pericia del conductor, y por consiguiente...*
- *sus conocimientos de acción evasiva, así como...*
- *el estado de funcionamiento y respuesta de los principales órganos del vehículo, y cómo no...*
- *las condiciones ambientales.*

Formulando para ello *preguntas tipo*, como:

- “*Qué hizo exactamente, si es que hizo algo, para evitar el accidente*”,
- “*Qué ocurrió luego*”,
- “*Qué es lo último que recuerda antes del accidente*”.

Con respecto a la **ACCIÓN EVASIVA**, es conveniente precisar qué es lo que hizo el conductor, o peatón, para evitar el accidente, después de darse cuenta del peligro, y considerar, en consecuencia, sus *conocimientos, experiencia, pericia y tiempo de reacción*.

**15.3.3.4.- De la posición clave al conflicto.** Entre la PCL y la PC. En este **INTERVALO** el accidente ya resulta inevitable y por tanto sólo cabe, pues estamos dentro del área de maniobra, realizar según los casos, una *maniobra evasiva de minimización* de resultados.

La circunstancia de existir una *pequeña diferencia de espacio y tiempo* entre la percepción posible PPP y el conflicto PC, *exculpará (en una generalidad de casos) de responsabilidad al conductor*. Si se diera esta circunstancia, no habría posibilidad de determinar los PPP, PPR, PD y PCL, ya que sólo se habría producido la *secuencia Percepción-Efectos*.

**15.3.3.5.- Entre el conflicto y la posición final.** Entre ambas posiciones, el accidente ya se ha producido, pero hay que decir, como luego veremos, que aún está en las *áreas de percepción y de maniobra* y por tanto cabe la *posibilidad de observar y por tanto modificar las trayectorias post-colisión* y consecuente con ello *minimizar las consecuencias del mismo*. En este espacio es importante formular *preguntas tipo*, como:

- “*Qué es lo primero que recuerda después del accidente*”,
- “*A quién vio primero después del accidente; qué le dijo*”, etc.

15.3.4.- **FASES DEL ACCIDENTE.** En la *clasificación tradicional* y aceptada mayoritariamente por los investigadores de accidentes de tráfico, se pueden distinguir tres fases:

15.3.4.1.- *Fase de REACCIÓN* (otros investigadores la llaman de *PERCEPCIÓN*), delimitada inicialmente (dentro de la zona teórica de la evolución del accidente) por el punto de percepción posible PPP y finaliza en el punto de decisión PD. En esta fase, desde que el conductor o peatón se da cuenta del peligro (PPR) hasta que actúa con el fin de soslayarlo o minimizarlo (PD), transcurre un tiempo, que da nombre a la fase y, que no es otro que:

#### 15.3.4.1.1.- *El tiempo de reacción.*

Ese período de tiempo consta de tres *secuencias*:

**1ª.-** “*La llegada*” de los estímulos exteriores, a partir de la PPP o en todo caso de la PPR; a través de los sentidos, principalmente de la vista, el conductor o peatón se apercibe de la situación de peligro inminente.

**2ª.-** “*La intelección*”, secuencia durante la cual el conductor o peatón elabora los medios en forma de acciones o maniobras evasivas para soslayar el peligro, y

**3ª.-** “*La volición*”, durante la cual la voluntad del usuario se decide a actuar y llevar a la práctica las acciones o maniobras decididas en la secuencia anterior.

Estas secuencias transcurren durante el *tiempo de reacción*; éste es variable y oscila con arreglo a la edad y al estado físico o psíquico de la persona, estimándose por la mayoría de los investigadores en una horquilla de *0,4 a 2 segundos*, tiempo que, además y para una persona “normal” se cifra entre *0.75 a 1 segundo*. El tiempo de estas tres secuencias puede verse *alterado por la influencia del alcohol u otras sustancias*, (al necesitar más tiempo de reacción y/o realizar una maniobra inapropiada).

Cabe resaltar por último que en la Revista de “Tráfico”, núm. 143, julio-agosto 2000, página 18, se decía que el *tiempo de reacción* puede variar, según los reflejos, entre 0'7 y 2'1 segundos y que éste es el resultado de la suma de varios *momentos* que se conocen con las siglas PIEV:

\* **PERCEPCIÓN:** Momento en que se tiene noción de que ocurre algo.

\* **INTELECCIÓN:** Identificación del suceso como un riesgo.

\* **EMOCIÓN:** Decisión de la respuesta apropiada.

\* **VOLICIÓN:** Se ejecuta la acción.

Tiempo que reparte de la siguiente forma:

<u>Fase</u>	<u>Pocos reflejos</u>	<u>Buenos reflejos</u>
* Percepción.....	0'2	0'1
* Intelección.....	0'4	0'2
* Emoción.....	1	0'2
* Volición.....	0'5	0'2
Total.....	2'1	0'7

15.3.4.2.- *Fase de DECISIÓN*, entendida como aquella en que lograda la percepción real y transcurrida la fase de reacción se inicia la puesta en práctica de la decisión adoptada, por lo que se encuentra delimitada inicialmente por el punto de decisión PD y finaliza en el punto clave PCL..

15.3.4.2.1.- Como resultado directo de lo anterior, en esta fase se estudia la **maniobra de evasión**, como aquella o conjunto de ellas que efectúa el usuario para evitar que el accidente se produzca. Estas maniobras consistirán en la elección de una o combinación de varias de las siguientes acciones: frenada severa, reducción de velocidad (levantando el pie del acelerador –quitar gas-, en los



“subvirajes”, o cambiando de velocidad), hacer o deshacer el “contravolante” en los “sobrevirajes”, desvío a la izquierda, desvío a la derecha, etc.

En algunas ocasiones, la maniobra de evasión consiste en elegir un accidente menor (*minimizarlo*).

15.3.4.3.- *Fase de CONFLICTO*, comprendida entre el punto clave PCL y la posición final PF. Es la culminación del accidente, es decir, comprende el último período de la evolución de éste, desde que el accidente resulta inevitable, pasando por el momento en el que se produce el máximo efecto hasta llegar a la posición final de las unidades de tráfico implicadas, o lo que es lo mismo, a su conclusión.

15.3.5.- **ÁREAS DEL ACCIDENTE.** Dentro de la evolución del accidente podemos distinguir tres áreas.

15.3.5.1.- *Área de PERCEPCIÓN*, la comprendida entre el punto de percepción posible PPP y la posición final PF (si tenemos en cuenta que el conductor o peatón “puede” percibir todo el proceso en el que se ve implicado).

15.3.5.2.- *Área de MANIOBRA*, comprende desde el punto de decisión PD, a la posición final PF. *Dentro del área de maniobra se encuentra siempre el PD.*

15.3.5.3.- *Área de CONFLICTO*, está comprendida entre el punto clave PCL y la posición final PF.

Como vemos, la *Teoría de la Evolución del Accidente* nos ha planteado el marco metódico de las cuestiones a investigar, y ello de una forma exhaustiva y cuantitativa, por lo que habrá de ser tenido en cuenta a la hora de llevar a la práctica la Inspección Ocular, los Testimonios, el Plan de Viaje y Otras fuentes, para obtener una adecuada información.

## **TEMA XVI**

**TÍTULO:**     **METODOLOGÍA Y TOMA DE DATOS PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁFICO-II.**

**A.- ESQUEMA:**

## **16.1.- Segundo.- LA INSPECCIÓN OCULAR**

- 16.1.1.- EL HOMBRE.
- 16.1.2.- LA VÍA. SUS CIRCUNSTANCIAS AMBIENTALES.
- 16.1.3.- EL VEHÍCULO. INVESTIGACIÓN DE ESTADO Y DAÑOS.
- 16.1.4.- LOS DOCUMENTOS DE CAMPO.

## **16.2.- MODELO PRACTICO: BOCETO Y HOJA DE MEDICIONES.**

- 16.2.1.- SECUENCIAS DE LA CONFECCIÓN DEL BOCETO:
  - A. *Dibujo.*
  - B. *Puntos Fijos.*
  - C. *Elección de “puntos característicos”.*
- 16.2.2.- SISTEMA DE “TRIANGULACIÓN” (BOCETO).
  - A.- *Hoja de mediciones: Triangulación y Complementarias.*
  - B.- *Una forma práctica de realizar dichas mediciones.*
- 16.2.3.- SISTEMA DE “COORDENADAS” (BOCETO).
  - A.- *Hoja de mediciones: Método de Coordenadas.*
  - B.- *Medidas complementarias.*

## **16.3.- LOS DOCUMENTOS DE GABINETE.**

- *La inspección ocular.*
- *Las manifestaciones.*
- *El croquis.*
- *El Álbum-Informe Fotográfico.*
- *El Vídeo-Reportaje.*
- *Los cuestionarios estadísticos.*

## **16.4.- EL “PLAN DE VIAJE”.**

## **16.5.- OTRAS FUENTES DE LA INFORMACIÓN.**

## **16.6.- INVESTIGACIÓN TÉCNICA. VERIFICACIÓN SISTEMÁTICA.**

- 16.6.1.- PERITAJES DE CIENCIA PROPIA. INFORMES PERICIALES DEL INVESTIGADOR.
- 16.6.2.- PERITAJES DE OTROS ESPECIALISTAS. INFORMES PERICIALES ANEXOS.
- 16.6.3.- EXPERIENCIA DEL INVESTIGADOR.

## **TEMA XVI**

**TÍTULO:** METODOLOGÍA Y TOMA DE DATOS PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁFICO-II.

## **B.- DESARROLLO:**

**16.1.- Segundo.- LA INSPECCIÓN OCULAR.** La inspección ocular es una de las más importantes *fuentes* en aportación de *información* para la investigación, ya que de la aplicación de la *técnica de investigación criminal*, en sentido general y de *su pronta práctica*, se obtiene, que el investigador policial sea *testigo privilegiado* del evento, así como que se pueda *sorprender el secreto del hecho* y la presunta *responsabilidad* del causante, al que se considera no repuesto todavía del acto que acaba de realizar, ni prevenido de los medios para ocultar su intervención en el mismo.

En la película “*El nombre de la Rosa*”, el protagonista, Fray Guillermo de Baskerville (Sean Connery), en un momento dado, averiguando la comisión de un delito, le hace un comentario a su ayudante, Atso de Meltz (Cristian Slater): “*El escenario del crimen, a menudo, suele ser el pergamino donde torpemente el criminal escribe su autógrafo*”.

Pues bien, partiendo de los tres *elementos o factores* básicos que intervienen en todo accidente, *el hombre*, *la vía* con sus circunstancias ambientales y *el vehículo*, la práctica de la inspección ocular y con respecto a cada uno de dichos factores, se puede estructurar de la siguiente manera:

**16.1.1.- EL HOMBRE.** Sobre *EL HOMBRE*, como *factor preponderante de las causas de los accidentes de tráfico*, lo fundamental será averiguar el origen de “*actuaciones erróneas*” o de los “*fallos humanos*”, que pueden ser debidos a:

\* *CIRCUNSTANCIAS FÍSICAS o SOMÁTICAS*, es decir, que afectan al cuerpo del conductor mediante *alteraciones orgánicas transitorias* (lipotimias, náuseas, mareos, etc.), *permanentes* (insuficiencia cardíaca, artrosis, carencia de algún órgano o parte corporal, etc.), *insuficiencias motoras* (descoordinación, falta de reflejos, etc.), *insuficiencias sensitivas, ópticas, acústicas, etc.*

\* *CIRCUNSTANCIAS PSÍQUICAS*, es decir, que afectan a la mente del conductor, como falta de atención, actitudes antisociales peligrosas, enfermedades mentales, inestabilidad emocional o conflictos personales, toxicomanías y alcoholismo, sueño, cansancio, rutina, etc.

\* *FALTA DE CONOCIMIENTOS, EXPERIENCIA o PERICIA*, determinados fundamentalmente por la clase y categoría del permiso de conducción del que es titular, su antigüedad, experiencia particular o profesional relacionada con el automóvil, etc.

Dentro de las anteriores circunstancias, cabe hacer una particular referencia a la *ALCOHOLEMIA* desde el punto de vista de la *incidencia del alcohol sobre el conductor*.

Aunque son conocidos los comportamientos de agresividad, euforia, falsa seguridad y temeridad, por los investigadores de accidentes se maneja la *TEORÍA* de que *el deterioro por alcohol que mayor incidencia tiene en la seguridad del tráfico, es el que se deriva de situaciones imprevistas de emergencia, al necesitar la persona que se encuentra bajo dichos efectos, MÁS TIEMPO DE REACCIÓN, ejecutando maniobras tardías y/o inapropiadas*.

**16.1.2.- LA VÍA. SUS CIRCUNSTANCIAS AMBIENTALES.** Dentro de los factores que intervienen en el accidente, *la vía* es el más estable, componente de alto coste y que en ocasiones influye en el evento, primordialmente a través de su *constitución y estado, configuración geométrica o trazado, y señalización*. La *vía* constituye una *FUENTE* de gran importancia por la información que aporta, de las circunstancias antes apuntadas y de las huellas y vestigios que sobre ella dejan los elementos del accidente.

*La configuración geométrica* de la vía influye, en cierta medida, en la producción de accidentes tales como salidas de vía en curva, por monotonía, colisiones laterales en intersecciones,

choques en estrechamientos y colisiones frontales por adelantamientos en cambios de rasante, entre otros.

*La señalización*, en tanto se desobedece la imposición de una señal, es una de las causas que en mayor porcentaje intervienen en los accidentes, sin olvidar la incidencia que tiene la carencia o incluso el exceso de ésta en algunas ocasiones.

Las *circunstancias ambientales* consideradas como el conjunto de factores que transforman de modo completo las características de la vía antes apuntadas, es, básicamente, las condiciones atmosféricas, obstáculos, obstrucciones visuales, deslumbramientos y los eventos o comportamientos sociales, como desplazamientos masivos coincidentes en tiempo y espacio, con especial referencia a los desplazamientos en días feriados (romerías, operaciones salida y retorno, etc.).

Con respecto a *Huellas y Vestigios*, todos los accidentes de los vehículos motorizados dejan alguna señal física de lo que ha ocurrido. Pueden ser los daños causados a un vehículo, las lesiones a un peatón, o marcas en la calzada. *Todas esas señales materiales serán irrefutables si se saben descubrir e interpretar correctamente*. Claro que muy raras veces podrán explicar *todo* lo que ha tenido lugar en un accidente, pero, con frecuencia *completan* las declaraciones de testigos y personas relacionadas, *prueban* o desmienten hipótesis de lo ocurrido y *marcan el rumbo* de una ulterior investigación.

**16.1.3.- EL VEHÍCULO. INVESTIGACIÓN DE ESTADO Y DAÑOS.** Un vehículo que ha sufrido un accidente contiene información suficiente como para llegar a una serie de conclusiones muy importantes respecto al suceso. Esa información la obtendremos del *reconocimiento del vehículo*, a través de un examen detallado con una múltiple finalidad:

- \* *Corroborar* si el estado anterior deficiente o defectuoso de alguno de sus elementos de Seguridad Activa, ha contribuido a producir el accidente, averiguando las reparaciones mecánicas o revisiones más recientes y su resultado a través de talleres y estación de ITV.

- \* *Verificar* la forma, es decir *cómo* ha ocurrido el accidente observando los daños existentes en los vehículos y/o personas y confrontándolos unos con otros.

- \* *Determinar* qué daños son anteriores al accidente, y que daños se han producido como consecuencia del mismo e incluso qué daños son posteriores y se han producido como consecuencia de las labores de acarreo o de almacenamiento.

- \* *Confirmar* qué partes de los vehículos han causado las lesiones a las personas y porqué, sobre todo en atropellos y cuando resultan lesionados los usuarios.

- \* *Comprobar* otros datos y elementos que ayudarán a la reconstrucción del accidente.

En la Investigación sobre el vehículo, con respecto a su estado y daños, así como a los elementos de seguridad, tanto activa como pasiva, será determinante averiguar su ocurrencia o respuesta en el tiempo, es decir, antes, durante o después del accidente (*determinando si es causa o efecto*).

**16.1.4.- LOS DOCUMENTOS DE CAMPO.** Durante la práctica de la inspección ocular, el investigador confecciona fundamentalmente los siguientes documentos o lleva a cabo los actos de registros de información que a continuación se relacionan:

- \* *El boceto* o croquis a mano alzada donde se reflejará la vía escenario de los hechos y su entorno, huellas y vestigios dentro y fuera de la calzada, posiciones finales del vehículo, posición de conflicto (PC), ubicación de puntos fijos, orientación, etc.

- \* *Hoja de mediciones* donde se anotarán las mediciones efectuadas por el sistema de coordenadas o por el de triangulación, desde los puntos fijos (dos como mínimo en el sistema de triangulación) a los puntos característicos o definitorios de la ubicación y/o forma de huellas, vestigios, cadáveres, vehículos, etc., así como las mediciones complementarias que determinaran la

geometría de la vía y circunstancialmente otras mediciones que por el sistema de coordenadas corroboren o complementen a las primeras.

\* *Hojas de Datos* donde se anotarán documentaciones, identificaciones, exámenes de vehículos y órganos principales con particular referencia al examen de neumáticos, desperfectos de vehículos, tacógrafos, etc.

\* *Fotografías* del lugar escenario de los hechos, huellas y vestigios, punto de conflicto, posiciones finales de personas fallecidas y vehículos, estudio-detalle de desperfectos de vehículos y estudio-estado de diferentes órganos de los mismos, etc.

\* *Toma de manifestaciones* cuando las circunstancias así lo permiten, llevándose a efecto generalmente por escrito y excepcionalmente de forma verbal, que posteriormente, ambas, se plasmarán en documentos que con las debidas formalidades legales conformarán las diligencias del atestado.

\* *Prueba de alcoholemia*; dentro de las actuaciones conducentes a la investigación del *HOMBRE* en sentido genérico, la *diligencia de detección alcohólica* adquiere gran importancia, pues con la práctica de ésta y con la confección de la *Ficha de Sintomatología Externa* o de *Comportamiento* se podrá llegar a algún tipo de conclusión respecto a la posible *influencia* del alcohol en conductores, peatones y usuarios, y su relación con *la causa*; prueba que será recogida documentalmente para su inclusión en el atestado.

\* *Nuevas tecnologías*. Eventualmente se podrán realizar otras actuaciones que vendrán determinadas según la casuística de los hechos y de las nuevas tecnologías aplicables al caso concreto, **v. gr.:** el video reportaje, fotogrametría, mediciones con láser, etc.

**16.2.- MODELO PRACTICO: BOCETO Y HOJA DE MEDICIONES.** Antes de realizar ninguna operación, es necesario ver y observar el lugar escenario del accidente, personas, vehículos, objetos, obstáculos, vía, arcones, etc., para hacernos una idea aproximada de los hechos, saber qué es lo más importante que tenemos que resaltar y, datos a consignar en general. En todo accidente, debe siempre confeccionarse un boceto del lugar escenario de los hechos, este boceto se realizará de una forma rápida y a mano alzada, para después en el gabinete, poder materializar el definitivo croquis sin errores ni omisiones y con mayor facilidad, además de recoger numerosos datos que por su fugacidad podrían perderse, como puede ocurrir con huellas que duran escasos minutos.

#### 16.2.1.- SECUENCIAS DE LA CONFECCIÓN DEL BOCETO:

**A. Dibujo.** El boceto se puede realizar, comenzando por dibujar a mano alzada con lápiz (no aconsejable bolígrafo o tinta en general) y papel común (puede ser un DIN-A4 apaisado, de calidad normal), con el apoyo de una carpeta rígida, siguiendo el proceso que a continuación se propone:

**1. Describir el escenario de los hechos**, es decir, *trazado en planta o configuración geométrica* de la carretera o calle con su *señalización* horizontal y/o vertical, arcones o aceras, cunetas, edificaciones, accidentes del terreno colindante, *obstáculos* fijos o eventuales, *obstrucciones* visuales horizontales y verticales tanto fijas como eventuales, etc.

**2. Huellas no perennes**, es decir, huellas efímeras como pueden ser frenazos, fricciones (derrapes), manchas de líquidos (sangre, aceites, líquido de frenos, etc.), restos de infraestructura viaria y de vehículos, objetos pequeños, etc., con particular referencia al *punto de conflicto* (PC).

**3. Situación final de las unidades de tráfico** (PF), empezando por personas y vehículos que hayan participado en el accidente, continuando con los elementos análogos, como pueden ser animales, piedras de gran tamaño desprendidas de laderas colindantes, objetos desprendidos de la carga de otros vehículos, y en general de cuantos objetos puedan haber interactuado con los demás elementos o factores del accidente.



**4. Otras huellas y elementos** que coadyuven a reflejar con más detalles el escenario post-accidente.

En su realización se procurará guardar *proporcionalidad* entre lo dibujado y la realidad (que un peatón no sea de mayor tamaño que un coche ni que éste sea de mayor anchura que la carretera) para ayudar a la mejor y última realización del croquis, así como facilitar su posible utilización en esta fase, en explicaciones a Autoridades que se presenten en el lugar.

**B. Puntos Fijos.** La elección de “*puntos fijos*” (PF “A”, “B”, “C”, etc), se consigue localizando y ubicando unos puntos donde se apoyará uno de los extremos de la cinta métrica y que por tanto de él partirán las mediciones a los diferentes “*puntos característicos*” con los que identificar una forma o silueta, ubicación, etc., de las huellas, vestigios, personas, vehículos y en general, como ya se apuntó, de cuantos elementos u objetos se pretenda localizar en el escenario de los hechos.

**1. Características.** Estos puntos han de ser perfectamente *identificables* y correctamente definidos, *no han de ser fácilmente alterables*, o lo que es lo mismo *han de perdurar en el tiempo* para posibilitar una futura “reconstrucción judicial de los hechos”, por lo que pueden tomarse postes de señalización, obras de infraestructura viaria, esquinas de edificios, postes de vallas y alambradas, árboles, hitos kilométricos, etc.

**2. Punto auxiliar.** El *punto fijo* deberá permitir, por tanto, las mediciones, y en el hipotético caso de que no sea así y no dispongamos de otro u otros, podremos trasladarnos desde éste, por el sistema de *mediciones por coordenadas*, a un punto determinado de la vía conocido con el nombre de “*punto auxiliar de ..*” (previa fijación de la distancia que los separa, medida sobre la perpendicular al eje de la calzada o calle) que marcaremos de forma indefectible (con *tiza* o *pintura de spray* en caso de presencia de nieve) y desde éste realizaremos ahora las mediciones, sin olvidar que el *único* y verdadero *punto* que reúne las condiciones de *fijo*, es el primero.

**3. Número de puntos fijos.** Los *puntos fijos*, *al menos dos* (en el sistema de *triangulación*), y *uno* (en el sistema de *coordenadas*), es aconsejable que estén situados en el mismo lado de la calzada o calle (cuando sean dos o más) y lo más próximos a los límites exteriores del tramo de la vía escenario de los hechos. En accidentes singulares que por sus dimensiones así lo aconsejen, podrán existir tantos *puntos fijos* como se estime necesario para la mejor y más completa descripción del lugar y de los elementos encontrados sobre él.

**4. Ubicación.** Los *puntos fijos* se localizarán en el boceto (para después trasladarlos al croquis final) mediante la plasmación de su forma más característica, **v. gr.:** poste de sujeción de una señal de tráfico, generalmente de forma rectangular; en este caso se dibujará una sección rectangular a nivel con la calzada y en dicha sección se marcará con un aspa el punto exacto donde se apoyará la cinta métrica para las mediciones. Para completar la descripción, será necesario tomar desde dicho punto, las siguientes mediciones:

- Altura desde el suelo (en el caso de no estar a nivel de la calzada).
- Distancia (sobre la perpendicular al eje longitudinal de la calzada) al borde exterior de la calzada o línea de separación de calzada y arcén (aconsejable en su punto medio).
- Distancia en línea recta (aconsejable que lo sea sobre la horizontal) que lo separa del otro punto fijo (en el caso de existir más puntos fijos, estas distancias se tomarán “de dos en dos” y siempre con respecto al más próximo).

**C.- Elección de “puntos característicos”.** Una vez dibujadas las posiciones finales de las personas, vehículos, huellas y vestigios en general, el siguiente paso será adjudicar a cada uno de ellos tantos *puntos* (puntos característicos) sean necesarios para determinar perfectamente su forma y dimensiones (silueta), **v. gr.:** si se trata de describir una huella de frenada, es conveniente que al menos tenga *dos* de estos puntos, el *inicial* y el *final*, independientemente de que como luego veremos, de esta huella se deben tomar, además, otras medidas complementarias, como longitud, anchura, separación de la paralela (en el caso concreto de que existan dos), etc. Siguiendo un procedimiento similar, se adjudicarán, sobre el boceto, y de forma correlativa por proximidad

geográfica (**v. gr.:** en el sentido de la inspección ocular), cuantos puntos sean necesarios (sin caer en el exceso) para la completa descripción de cada elemento u objeto.

El boceto levantado del lugar de los hechos contará con la orientación *norte* que completará la información de la ubicación geográfica, a tener en cuenta con relación a la posición del Sol y sentido de los vientos que puedan presentarse en la zona.

**16.2.2.- SISTEMA DE “TRIANGULACIÓN” (BOCETO):** *Accidente de circulación ocurrido a las... horas del día... de... de..., en el km. ... de la carretera (a la altura del número... de la calle...)... (tipo de vía y numeración), de ... a ..., término municipal de... partido judicial de..., consistente en... (tipología del accidente) entre el ... modelo... matrícula... y el... modelo... matrícula..., del que resultó... (fallecidos, heridos o sólo daños materiales).*

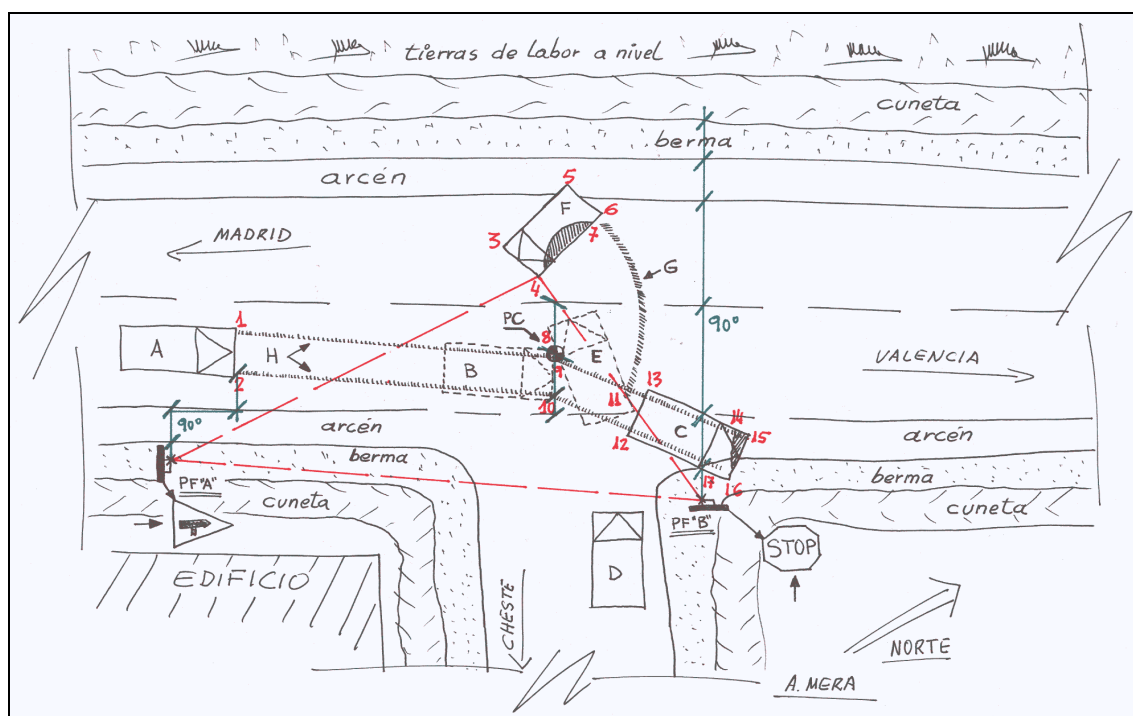


Gráfico 14.

**Leyenda**

- (A) Posición inicial del vehículo A y sentido de su trayectoria.
- (B) Posición en conflicto del vehículo A.
- (C) Posición final del vehículo A.
- (D) Posición inicial del vehículo D y sentido de su trayectoria.
- (E) Posición en conflicto del vehículo D.
- (F) Posición final del vehículo D.
- (G) Huella de fricción lateral producida por la rueda posterior izquierda del vehículo D.
- (H) Huellas de frenada producidas por el vehículo A (se aprecia “desalineación” a partir del punto de conflicto (PC)).
- (PC) Punto de colisión (centro de la zona donde se observan restos de “infraestructura viaria” y zona donde se produce la “desalineación de las huellas de frenada”).
- (PF “A”) Punto de la arista del poste de sustentación ( señal de tráfico, cruce con prioridad).
- (PF “B”) Punto de la arista del poste de sustentación (señal de tráfico, STOP).

### Símbolos usados para los bocetos y diagramas




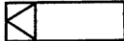



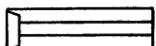



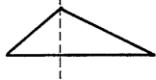

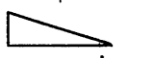



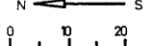

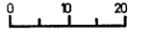

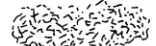




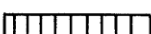




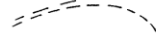



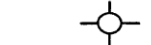
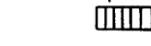

	Borde firme.		Automóvil.
	Bordillo.		Camión.
	Unión firmes.		Tractor y remolque.
	Línea long. disconti.		Autobús.
	Línea long. continúa.		Señalización (Indíquese cuál).
	Línea central sin señali- zar.		Cambio de rasante.
	Otras señalizaciones.		Porcentaje de +20% rampa (Cuesta).
	Setos bajos.		Señales luminosas.
	Borde.		Orientación.
	Valla protectora.		Escala.
	Valla.		Restos.
	Dique de tierra.		Charcos.
	Pared.		Huellas frenazo.
	Vía ferroviaria.		Huellas de aspereza.
	Arboles.		Hendidura.
	Arbustos.		Arañazo.
	Edificio y obstrucción visual.		Surco acanalado.
	Poste.		
	Poste iluminación calle.		
	Alcantarilla.		
	Posición de la máqui- na fotográfica.		

Gráfico 15.

A.- *Hoja de mediciones: Triangulación y Complementarias.* Unida al boceto se cumplimentará una *hoja de mediciones* en la que constarán cuantas medidas sea conveniente tomar por el *sistema de coordenadas* para la ubicación de puntos fijos y medidas complementarias, así como por el *sistema de triangulación* para la ubicación de los puntos característicos o descriptivos de huellas, vestigios y posiciones, así como del *punto de conflicto* (PC).

1. *Medidas complementarias.* Para las medidas complementarias se utilizará el *Sistema de coordenadas*: Mediciones realizadas con respecto al *eje longitudinal* de la calzada y *perpendiculares a éste* reflejadas en el boceto del Gráfico 14 con *líneas y acotaciones de color verde*:

a. Vía principal:

- \* Anchura del carril izquierdo \_\_\_\_\_ metros (de centro a centro de línea, por ejemplo)
- \* Anchura del carril derecho \_\_\_\_\_ metros ( id. id. id. )
- \* Anchura otros carriles \_\_\_\_\_ metros ( id. id. id. )
- \* Anchura del arcén (o acera) izquierdo \_\_\_\_\_ metros ( id. id. id. )
- \* Anchura del arcén (o acera) derecho \_\_\_\_\_ metros ( id. id. id. )

- \* PF “A” (perpendicularmente al eje longitudinal de la calzada). A \_\_\_\_\_ metros de (borde de la plataforma o línea longitudinal más próxima, de la calzada) y a \_\_\_\_\_ metros de altura (hasta coincidir con el nivel de la calzada). A \_\_\_\_\_ metros del PK (punto kilométrico y hectómetro, de la carretera o número de la calle).
- \* PF “B” (perpendicularmente al eje longitudinal de la calzada). A \_\_\_\_\_ metros de (borde de la plataforma o línea longitudinal más próxima, de la calzada) y a \_\_\_\_\_ metros de altura (hasta coincidir con el nivel de la calzada). A \_\_\_\_\_ metros del PK (kilómetro y hectómetro, de la carretera o número de la calle).
- \* Distancia entre puntos fijos: \_\_\_\_\_ metros.
- \* Anchura de la *berma izquierda* \_\_\_\_\_ metros.
- \* Anchura de la *berma derecha* \_\_\_\_\_ metros.
- \* Cuneta izquierda: Anchura \_\_\_\_\_ metros. Profundidad \_\_\_\_\_ metros.
- \* Cuneta derecha: Anchura \_\_\_\_\_ metros. Profundidad \_\_\_\_\_ metros.
- \* *Nivel terreno colindante*: Izquierdo: A nivel, o a \_\_\_\_\_ metros (sobre o bajo el nivel de la calzada). Derecho: A nivel, o a \_\_\_\_\_ metros (sobre/bajo el nivel de la calzada).
- \* *Huellas y vestigios*:
- \* *Inicio huella izquierda (sentido Valencia)*, a \_\_\_\_\_ metros de la línea del centro (sistema de coordenadas)
- \* *Punto 8, de desalineación huella izquierda (sentido Valencia)*, a \_\_\_\_\_ metros de la línea del centro (sistema de coordenadas)
- \* Punto de conflicto PC: A \_\_\_\_\_ metros de la línea del centro (sistema de coordenadas), y a \_\_\_\_\_ metros de la línea del lado derecho –separación de calzada y arcén-, o proyección imaginaria de ésta. A \_\_\_\_\_ metros del PK (kilómetro y hectómetro, de la carretera o número de la calle).
- \* Otras medidas en función de las características singulares del lugar escenario de los hechos (**v. gr.:** *obstrucciones visuales como edificios, taludes, señales, vehículos estacionados, etc.* –con expresión de alturas-.)...

b. Vía secundaria: (Repetición de los puntos anteriores excepto los puntos fijos, distancia entre ambos y huellas y vestigios).

**2. Medidas por triangulación. Sistema de triangulación:** El sistema toma nombre de la figura geométrica que imaginariamente se forma al realizar mediciones desde un punto característico a los dos puntos fijos (*líneas discontinuas de color rojo* del boceto recogido en el *Gráfico 14*, con respecto al punto característico *núm. 4*). Lado base será el formado por la línea recta imaginaria que une los puntos fijos. A partir de ambos puntos –o de dos en dos, si hubiere más-, se realizan mediciones –dobles- a cada *punto característico*, que formarían –imaginariamente- el triángulo en cuestión.

**B.- Una forma práctica de realizar dichas mediciones** puede ser la siguiente (boceto del *Gráfico 14*):

a. Uno de los componentes del equipo de recogida de datos (o un colaborador voluntario) se sitúa sujetando el extremo de la cinta métrica en el *Punto Fijo “A”*.

b. Otro miembro del equipo realiza las mediciones de forma sucesiva sobre cada uno de los *puntos característicos*, efectuándolo en orden numérico ascendente (**v. gr.:** partiendo del *número 1*) y que como ya se expuso deben encontrarse situados por proximidad geográfica para lograr economía de tiempo al realizar desplazamientos cortos por la proximidad a la ubicación del anterior; mediciones que, o bien anota directamente en la *hoja de mediciones*, o bien “canta” (pronuncia de viva voz) para que (en su caso), otro componente del equipo (que puede ser el que sujeta el extremos de la cinta) realice las anotaciones.

c. Efectuado el primer “barrido” de mediciones (**v. gr.:** de izquierda a derecha y en el mentado orden ascendente), el componente que se encontraba en el *punto fijo “A”*, se traslada al *Punto Fijo “B”*, al tiempo que el que había efectuado la medición en el último punto característico

permanece en éste y desde el mismo, vuelve a realizar mediciones (ahora con respecto al *punto fijo* “B” y esta vez en orden descendente) que como en el punto anterior, o bien anota o bien “canta” para que otro las anote; el procedimiento finaliza cuando se llegue de regreso al punto característico *número 1*, del boceto.

***Hoja de mediciones por triangulación (ejemplo)***

<b>Punto característico</b>	<b>Punto Fijo “A”</b>	<b>Punto Fijo “B”</b>	<b>Observaciones</b>
1	X (metros)	X (metros)	
2	X (metros)	X (metros)	
3	X (metros)	X (metros)	
4	X (metros)	X (metros)	<b>v.gr.:</b> Ángulo anterior izquierdo del vehículo <b>B</b>
5	X (metros)	X (metros)	
6	X (metros)	X (metros)	
7	X (metros)	X (metros)	<b>v.gr.:</b> Final huella fricción lateral
8	X (metros)	X (metros)	<b>v.gr.:</b> Punto “desalineación” huella izquierda
<b>9</b>	<b>X (metros)</b>	<b>X (metros)</b>	<b>v.gr.:</b> Punto de colisión <b>PC</b>
10	X (metros)	X (metros)	<b>v.gr.:</b> Punto “desalineación” huella derecha
11	X (metros)	X (metros)	<b>v.gr.:</b> Inicio huella de fricción lateral
12	X (metros)	X (metros)	
13	X (metros)	X (metros)	
14	X (metros)	X (metros)	
15	X (metros)	X (metros)	
16	X (metros)	X (metros)	
17	X (metros)	X (metros)	<b>v.gr.:</b> Final huella de frenada derecha

*Gráfico 16.*

**Notas.** 1. En las columnas de los Puntos Fijos (“A” o “B”) se anotarán en metros, las distancias medidas – horizontalmente- a cada uno de los “puntos característicos”.

2. En la columna *observaciones*, sólo se escribirán cuando sea necesario explicar el punto característico.

**16.2.3.- SISTEMA DE “COORDENADAS” (BOCETO):** *Accidente de circulación ocurrido a las... horas del día... de... de..., en el km. ... de la carretera (a la altura del número... de la calle...)... (tipo de vía y numeración), de... a..., término municipal de... partido judicial de..., consistente en... (tipología del accidente) entre el... modelo... matrícula... y el... modelo... matrícula..., del que resultó... (fallecidos, heridos o sólo daños materiales).*



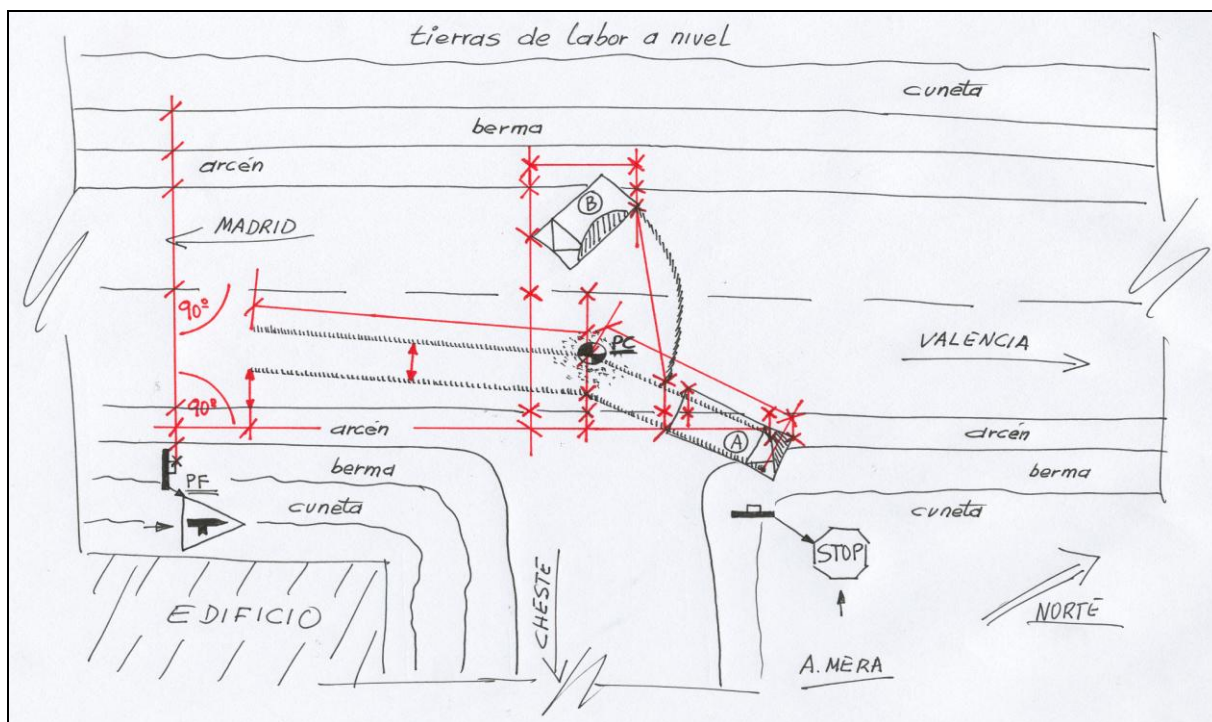


Gráfico 17.

### Leyenda

- (A) Posición final del vehículo A y sentido de su posición.  
 (B) Posición final del vehículo B y sentido de su posición.  
 (PC) Punto de colisión (centro de la zona donde se observan restos de “infraestructura viaria” y zona donde se produce la “desalineación de las huellas de frenada”).  
 (PF) Punto de la arista del poste de sustentación ( señal de tráfico, cruce con prioridad).

A.- Hoja de mediciones: Método de Coordenadas. Sobre el boceto constarán cuantas medidas sea conveniente tomar por el sistema de coordenadas para la ubicación del punto fijo y demás medidas con respecto a huellas, vestigios, punto de Conflicto (PC) y posiciones finales (PF).

1. Huellas y vestigios: Las referidas medidas serán, al menos, las siguientes:

- Distancia (1) del PF a la línea (punto medio de ésta) del borde derecho, carril derecho, sentido Valencia, medidos horizontalmente y de forma perpendicular a dicha línea (o lo que es lo mismo: al eje longitudinal de la calzada).
- Sobre la línea del borde derecho, ya citada, y sentido Valencia, Distancia (2) que separa la proyección perpendicular del PF a la proyección perpendicular del inicio de la huella de frenada, huella derecha sentido Valencia.
- Distancia (3) existente entre el inicio de la citada huella y la mencionada línea (punto medio de ésta) del borde derecho.
- Sobre la línea del borde derecho, sentido Valencia, Distancia (4) existente desde la proyección perpendicular del inicio de la huella derecha, a la proyección perpendicular del punto de desalineación de la huella.
- Como medida complementaria a la anterior, longitud (5) de dicho tramo de huella.

- f. *Distancia* (6), perpendicular al eje longitudinal de la calzada, existente entre el punto de *desalineación de la huella* y la línea (punto medio de ésta) del borde derecho.
- g. Sobre la línea del borde derecho, y a partir de la proyección perpendicular del punto de *desalineación de la huella*, *Distancia* (7) que separa la anterior de la proyección del punto final de la huella que estamos describiendo.
- h. Como medida complementaria a la anterior, *longitud* (8) de este segundo tramo de la huella.
- i. Desde la citada vertical, *Distancia* (9) que separa el final de la huella y la línea (punto medio de ésta) del mencionado borde derecho.
- j. Sobre la línea del borde derecho, desde la proyección perpendicular del punto de conflicto PC, sentido Valencia, hasta la proyección sobre ésta, del punto de inicio de la huella de fricción lateral, que partiendo del carril derecho describe un arco y finaliza en el carril izquierdo; *Distancia* (10) longitudinal entre ambas proyecciones.
- k. *Distancia* (11) desde la línea del borde derecho (punto medio de ésta), al citado punto inicial de la huella de fricción, en el carril derecho sentido Valencia.
- l. *Distancia* (12) desde el punto final de la expresada huella, en el carril izquierdo, a la línea (punto medio de ésta) del borde izquierdo de la calzada.
- m. Como *medida complementaria* a las dos anteriores, *longitud* (13) de la cuerda del arco descrito.

**Nota:** Con esta última medida se ha descrito la huella derecha, sentido Valencia, en su extensión completa: para describir la huella izquierda, por ser paralela a la primera y de igual longitud, bastará citar la anchura o *Distancia* (14) que separa ambas huellas.

## 2. Punto de Conflicto (PC):

- n. A la altura de la proyección del *punto de desalineación* de la huella derecha, *Distancia* (15) existente entre la línea del borde derecho (punto medio de ésta), y el centro de la zona de restos de infraestructura observada en la calzada y que en este caso coincide con el punto de desalineación de la huella izquierda, es decir el *punto de colisión* PC.
- o. Como *medida complementaria* (16) de la anterior, manteniendo la misma proyección perpendicular al eje longitudinal de la calzada, *Distancia* (17) que separa al PC de la línea (punto medio de ésta) longitudinal discontinua del centro de la calzada y que separa ambos sentidos.

## 3. Posiciones finales de los vehículos.

- p. *Vehículo "B"*: Sobre la línea del borde derecho, sentido Valencia, a partir del punto coincidente con la proyección perpendicular del Punto Fijo PF, medir la *Distancia* (18) hasta la proyección perpendicular sobre dicha línea de su ángulo anterior derecho; medir la *Distancia* (19) desde dicho ángulo al punto medio de la línea del borde izquierdo en el expresado sentido de marcha; repetir medición de la *Distancia* (20) desde su ángulo posterior izquierdo a la misma línea.
- q. *Vehículo "A"*: Sobre la línea del borde derecho, sentido Valencia, a partir del punto coincidente con la proyección perpendicular del ángulo anterior derecho del vehículo "B", medir la *Distancia* (21) hasta la proyección perpendicular sobre dicha línea del ángulo posterior derecho del vehículo

“A”; medir la *Distancia* (22) desde dicho ángulo al punto medio de la línea del borde derecho; repetir medición de la *Distancia* (23) desde su ángulo anterior izquierdo a la misma línea.

**Nota:** Con estas mediciones, 23 en total, más las complementarias referentes a la cazada (anchura carriles, arcenes, berma, cuneta, etc.), se podrá representar en el croquis, la escena de los hechos de forma adecuada.

**B.- Medidas complementarias.** Como Hoja de Mediciones Complementarias, se puede utilizar un modelo similar a la del sistema ya descrito, excepto en lo referente a la distancia entre puntos fijos.

### 16.3.- LOS DOCUMENTOS DE GABINETE.

\* *LA INSPECCIÓN OCULAR*, bien formando parte del Atestado, bien del Informe Técnico.

\* *LAS MANIFESTACIONES* que de forma íntegra formarán parte del Atestado y de forma extractada en el Informe Técnico.

\* *EL CROQUIS* es un dibujo sencillo y de fácil interpretación que tiene por finalidad representar la evolución del accidente, pretendiendo ser un resumen visual del mismo, y que puede ser interpretado por cualquiera que lo examine, sin necesidad de conocimientos particulares.

Dibujo que representará, necesaria y generalmente, la trayectoria de las unidades de tráfico participantes, con su ubicación en las posiciones iniciales, en conflicto y finales, útiles para la representación del desarrollo del evento e imprescindibles para la reconstrucción del mismo.

\* *EL ÁLBUM-INFORME FOTOGRÁFICO*. La fotografía, es un medio de gran aplicación en el campo de la investigación criminal. Su empleo desde hace cien años ha demostrado que constituye una de las fuentes de evidencia o de prueba más precisa y fiable ante los tribunales.

\* *EL VÍDEO-REPORTAJE* sería (todavía no lo es de forma generalizada) un complemento a los documentos anteriores que proporcionaría una idea de conjunto del escenario de los hechos en tiempo y circunstancias “reales” a la práctica de la inspección ocular.

\* *LOS CUESTIONARIOS ESTADÍSTICOS* a confeccionar según lo recogido en la Orden del Ministerio de Relaciones con las Cortes y de Secretaría del Gobierno, de fecha 18-2-93.

A partir de los documentos anteriores, se confeccionará en gabinete *el croquis* o gráficos definitivos del accidente, el *álbum-Informe fotográfico*, la *inspección ocular*, así como los *cuestionarios estadísticos*.

**16.4.- EL “PLAN DE VIAJE”.** A veces, en un accidente, vale la pena estudiar el plan total del desplazamiento que *EL HOMBRE* pretendía realizar, lo que se conoce como “*PLAN DE VIAJE*”, y que significará, entre otras circunstancias, averiguar:

- a.- *Lugar del que partió el conductor.*
- b.- *Lugar de destino.* A dónde pretendía ir.
- c.- *Horas de descansos previos.*
- d.- *Hora de salida.*
- e.- *Hora del accidente.* Tiempo y espacio recorrido (*velocidad media*).
- f.- *Horario de las paradas que efectuó y objeto de las mismas (descansó, comió, bebió, etc.).*
- g.- *Testimonios de empleados de establecimientos de restauración y surtidores de combustibles.*
- h.- *Historial médico (con las formalidades legales al caso) y en su caso tratamiento médico actual con detalle de los fármacos que se administra.*

i.- *Problemática personal, familiar, laboral, social y económica que le pudiera afectar.*

j.- *Otras circunstancias que pudieran concurrir en el factor HOMBRE.*

La información que del Plan de Viaje se obtenga puede ser determinante en numerosos casos en los que por fallecimiento de las personas directamente implicadas se carezca de otras fuentes de información o aún en el caso de no-fallecimiento, para corroborar, confirmar o descartar hipótesis u otros datos de información.

**16.5.- OTRAS FUENTES DE LA INFORMACIÓN.** (El puntual Informe Pericial Anexo). Previo conocimiento y autorización Judicial, determinadas *pruebas*, como lámparas, grasas, partes o piezas del vehículo, materias orgánicas, ropas u otras, pueden ser objeto de *análisis científicos* (Física y dinámica del accidente; mecánicos; eléctricos, etc.), *forenses* (sobre Biomecánica; análisis clínicos; psicológicos; psiquiátricos, etc.), o de *ingeniería del tráfico* (con respecto a la geometría de la vía, señalización, visibilidad, obstáculos, etc.)

*Las conclusiones* de dichos Informes aportarán en la mayoría de los casos, datos relevantes para la propia culminación de la investigación del accidente (justificación de la aceptación o descarte en el tratamiento de hipótesis).

**15.6.- INVESTIGACIÓN TÉCNICA. VERIFICACIÓN SISTEMÁTICA.** El método exige que la investigación no se agote con las vías tradicionales expuestas en la recogida y registro de datos, pues ello podría avocarnos en algunas ocasiones a un callejón sin salida o en el mejor de los casos, a que, agotada la información obtenida, no podamos llegar a la convicción de la aceptación o descarte de una determinada hipótesis por falta de apoyo en datos que la corroboren, confirmen o razonablemente atestigüen una determinada línea de investigación. Lo anterior se pretende conseguir con la *verificación sistemática*.

**16.6.1.- PERITAJES DE CIENCIA PROPIA. INFORMES PERICIALES DEL INVESTIGADOR.** Es evidente que el equipo investigador debe ser pretendidamente multidisciplinar, o lo que es lo mismo, la investigación debería configurarse a través de un equipo formado por peritos en varias materias relacionadas con la investigación de accidentes. Pero si eso debiese ser así en algunas investigaciones, no es menos cierto que en la inmensa mayoría de los casos no suceden los acontecimientos en dicha forma, sino que el investigador es unipersonal o, en todo caso, lo usual es que el equipo está formado por dos investigadores de formación policial. Pero tampoco significa eso que los que componen el equipo tengan vedado, por insuficiencia de conocimientos científicos, la emisión de determinados informes periciales, como puede ser el caso de:

A.- *Elementales cálculos de física y dinámica* en fase de investigación de “campo”.

B.- *Operar con programas informáticos* de investigación de accidentes.

Además, y para complementar dichos informes periciales, el investigador puede llevar a cabo pericias básicas como:

C.- *Ensayos de frenada* en el lugar de los hechos, con vehículo, neumático y condiciones climatológicas y ambientales, similares a las del accidente, con los que se pueden obtener. v. gr.: coeficientes de fricción longitudinal y lateral más fidedignos que los obtenidos con la sola consulta de tablas al respecto. (sobre el *vehículo*).

D.- *Pruebas de alcoholemia subjetivas* distintas de la tradicional prueba con el etilómetro evidencial o de precisión –deambulación, incoherencias en la expresión, aliento a alcohol, ojos “brillantes”, etc.-. (respecto al *hombre*).

E.- *Pruebas de visibilidad* en el lugar escenario de los hechos, con las mismas circunstancias que las del accidente, para poder determinar, v. gr.: la posible ubicación del PPP, o la probabilidad de un deslumbramiento. (sobre la *vía y entorno*).

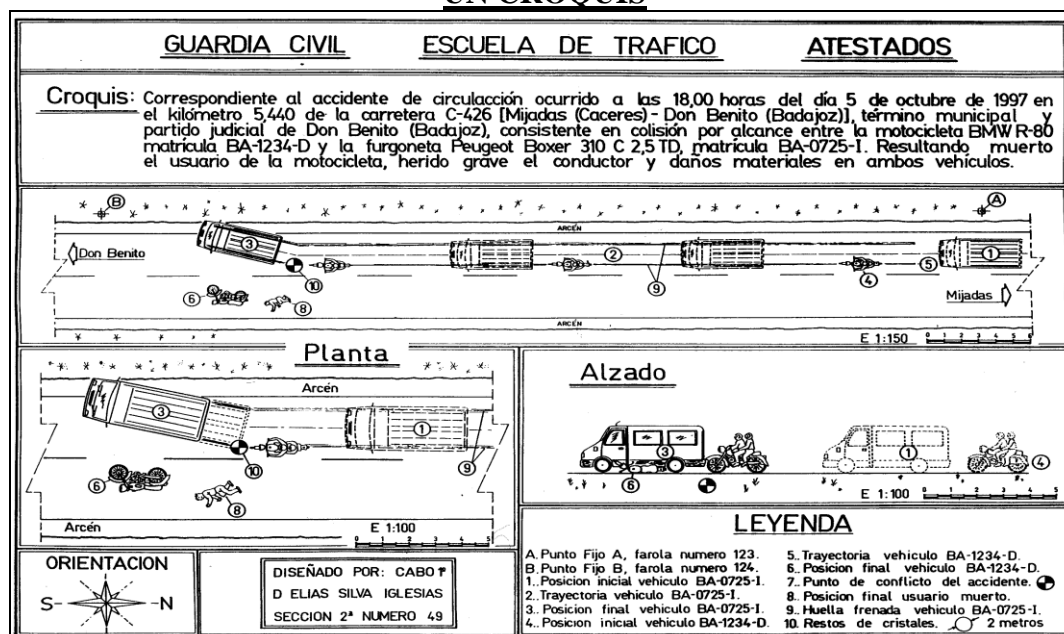


16.6.2.- PERITAJES DE OTROS ESPECIALISTAS. INFORMES PERICIALES ANEXOS. De lo anterior se colige que, en otras materias o a otros niveles de conocimiento, se hace necesario contar con expertos debidamente cualificados (**v. gr.:** Gabinetes de Policía Científica), de los que, con el beneplácito de la autoridad Judicial, solicitar Informes Periciales puntuales que se adjuntarán al Informe de Investigación en calidad de Anexo, y cuyas conclusiones coadyuvarán a formar la convicción del investigador.

16.6.3.- EXPERIENCIA DEL INVESTIGADOR. Como adelanto a lo que después se dirá con respecto a los programas informáticos, se puede decir, a modo de *ejemplo*, que: Cuando la respuesta de un programa informático es ampliamente sensible a pequeñas variaciones de los “inputs” o datos que se introduzcan, y ello nos lleva a la inseguridad del resultado, *la experiencia del investigador*, en algunas ocasiones singulares y cuando no haya otros elementos de mayor peso, podrá modular la introducción de dichos “inputs” y razonar experimentalmente la elección de la respuesta adecuada.

Así mismo, en accidentes singulares, el concurso de la experiencia puede ser determinante a la hora de elegir una técnica o método de investigación más adecuado a esa particularidad concreta, basado en la bondad del resultado de su aplicación en otros casos similares.

### UN CROQUIS



## TEMA XVII

### TÍTULO:    **LA RECONSTRUCCIÓN. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.**

#### **A.- ESQUEMA:**

##### **17.1.- PRIMER ANÁLISIS.**

17.1.1.- EMISIÓN DE HIPÓTESIS SOBRE CÓMO SE PRODUJO EL ACCIDENTE.

17.1.2.- CÁLCULOS DE FÍSICA Y DINÁMICA DEL ACCIDENTE.

17.1.3.- PROGRAMAS INFORMÁTICOS DE RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES.

17.1.4.- DESARROLLO SECUENCIAL DEL ACCIDENTE, PARA CADA UNIDAD DE TRÁFICO O ELEMENTO ANÁLOGO.



## **17.2.- SEGUNDO ANÁLISIS. El Método.**

### **17.2.1. EL PROBLEMA.**

#### **17.2.2.- EMISIÓN DE HIPÓTESIS SOBRE EL PORQUÉ SE PRODUJO EL ACCIDENTE.**

17.2.2.1.- *Hipótesis sobre el porqué*, referido a la *causa del accidente*.

#### **17.2.3.- JUSTIFICACIÓN DE HIPÓTESIS. LA CONVICCIÓN.**

#### **17.2.4.- LA CREATIVIDAD INTUITIVO-ARTÍSTICA DEL INVESTIGADOR. EL PROGRESO EN LA INVESTIGACIÓN.**

#### **17.2.5.- CONCLUSIÓN: DETERMINACIÓN DE LAS CAUSAS.**

#### **17.2.6.- CAUSAS (CLASIFICACIÓN).**

17.2.6.1.- *Causas mediatas.*

17.2.6.2.- *Causas inmediatas.*

17.2.6.3.- *Causa principal o causa eficiente.*

#### **17.2.7.- DESARROLLO DEL ACCIDENTE. RELATO SECUENCIAL DE LA RECONSTRUCCIÓN.**

#### **17.2.8.- UN CASO PRÁCTICO.**

## **TEMA XVII**

### **TÍTULO: LA RECONSTRUCCIÓN. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.**

#### **B.- DESARROLLO:**

### **17.1.- PRIMER ANÁLISIS.**

17.1.1.- EMISIÓN DE HIPÓTESIS SOBRE CÓMO SE PRODUJO EL ACCIDENTE. Cuando surgen preguntas del tipo de, *cómo se ha producido*, o, *en qué consiste*, el accidente, no encontraríamos respuestas adecuadas si previamente no tuviésemos una clasificación o tipología de estos eventos, con la que denominar casos concretos. En función de los datos obtenidos en la *inspección ocular* (realizada de forma precisa, minuciosa, inmediata y objetiva, así como sin prejuicios), por lo que respecta a *la vía* (huellas y vestigios observados en ella o en sus márgenes próximos), *el vehículo* (localización de daños, proporción de éstos, altura, restos de pintura de otros

vehículos, correspondencia de daños entre móviles implicados, restos de sangre, ropa etc.) y *el hombre* (tipo de lesiones y localización de éstas, etc.), así como la originada en los *testimonios* de las personas relacionadas, el investigador se planteará la posibilidad de que los hechos se hayan producido de una forma u otra, es decir, se planteará diversas *hipótesis sobre el tipo o clase del accidente*, teniendo presente que los hechos no deben adaptarse a una hipótesis, sino, al contrario, la hipótesis a los hechos.

Para resolver esa cuestión el investigador cuenta ya con la información, cuantitativa y cualitativamente deseable para asegurar el éxito, que le proporciona la *Inspección ocular*, los *testimonios*, el “*Plan de Viaje*” y *Otras fuentes* de información, así como la que puntualmente pueda haber obtenido de la *Investigación Técnica* o *Verificación Sistemática*, pero aún será necesario, o al menos deseable en algunos casos, la corroboración de estos datos con los que se puedan obtener de otras fuentes.

**17.2.- CÁLCULOS DE FÍSICA Y DINÁMICA DEL ACCIDENTE.** En fase de investigación de “*gabinete*”, para proceder a la determinación de la *VELOCIDAD INICIAL* de un vehículo implicado en un accidente, realizamos un análisis empleando uno de los principios más generales de la mecánica: el *Principio de Conservación de la Energía (PCE)*, según el cual “*la energía ni se crea ni se destruye, simplemente se transforma*”.

La traducción práctica del anterior enunciado es que *resulta posible determinar la velocidad inicial a partir de los resultados finales del accidente* (posición final de los vehículos implicados, huellas y marcas sobre la vía, daños en los vehículos, en las personas, en otros elementos, etc.).

Esta aplicación del *PRINCIPIO DE CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA* es la base de la gran mayoría de las técnicas utilizadas en reconstrucción de accidentes. Las energías cinéticas de los vehículos antes y después de producirse la colisión entre ambos, no son iguales. Según afirma el mentado principio, *la diferencia entre la energía cinética inicial y la final del sistema, no puede desaparecer sino que ha de transformarse, en su mayor parte, en trabajo o energía absorbida en la deformación de los vehículos implicados en un accidente*.

Si asumimos que el trabajo realizado para producir una determinada deformación es igual a la energía cinética perdida en un impacto (con otro vehículo, objeto o elemento de la infraestructura viaria, edificaciones, árboles, etc.), podremos obtener una estimación de la velocidad y violencia del mismo, teniendo en cuenta las *ENERGÍAS DE ROZAMIENTO* y/o aplicando el *PRINCIPIO DE CONSERVACIÓN DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO (PCCM)*, si bien este principio o mejor dicho sus resultados en la aplicación a la reconstrucción de accidentes, serán sensibles cuando se den las siguientes condiciones<sup>5</sup>:

- Los ángulos de las trayectorias pre-colisión son casi rectos.
- Los vehículos tienen un peso similar.
- Los vehículos se mueven al menos 15 ó 20 metros post-colisión.

Todo ello podrá ser así, siempre y cuando dispongamos de huellas de frenada y/o arrastre del accidente, pero hay ocasiones en que se carece de éstas e impide por tanto el cálculo de la velocidad por métodos “*tradicionales*”, o bien que existiendo tales huellas, además de la energía transformada en rozamiento, se han producido, como ocurre en la inmensa mayoría de accidentes, energía transformada en *DEFORMACIONES, fracturas de elementos, árboles, proyecciones parabólicas de peatones y objetos, etc.*

Vehículos dotados de ABS, pavimentos húmedos o de escasa adherencia, conductores que ni siquiera actuaron sobre el sistema de frenado, largos períodos de tiempo transcurridos desde el accidente hasta la práctica de la inspección ocular, y otras circunstancias, pueden justificar el empleo de herramientas de cálculo alternativas.

Los comienzos en la determinación de las velocidades perdidas en una colisión a partir de las deformaciones residuales tuvieron lugar hacia el año 1974 a partir de informes sobre colisiones

frontales realizadas por *CAMPBELL* en General Motors USA. Esta teoría fue posteriormente utilizada por *McHENRY*, llegándose al *método CAMPBELL-McHENRY*, el que, partiendo de analizar numerosos ensayos de choques realizados con vehículos de fabricación americana de la época, y aún presentando la limitación de tener *dos fuentes fundamentales de error, la profundidad de deformación y la estimación de la Fuerza Principal de Impacto (FPI)*, que pueden llevarnos a error final, entre un mínimo del *seis por ciento*, un valor medio comprendido entre el *diez y el quince por ciento*, aunque en algunas ocasiones se puede llegar a desviaciones del *veinticinco por ciento*, establece la posibilidad de, con la debida *prudencia en estos resultados*, obtener una aproximación de la velocidad en función de las deformaciones de los vehículos. El análisis de las deformaciones resulta ser un evento experimental y complejo para poder constituir, hoy por hoy, una herramienta definitiva y exacta en la reconstrucción de accidentes.

Por todo ello, habrá algún caso en el que el análisis de las deformaciones no suministrará resultados válidos que se correspondan con la realidad de lo sucedido. En estos casos, *el INVESTIGADOR-RECONSTRUCTOR deberá ser capaz, sobre la base de su experiencia, de discernir la plausibilidad de los resultados*. Cabe apuntar por último, que *su fundamental limitación* estriba en su aplicación a vehículos turismo y “pick-up”, atendiendo principalmente a su batalla, por lo que *quedan fuera camiones, autobuses y motocicletas*.

**17.3.- PROGRAMAS INFORMÁTICOS DE RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES.** Los programas informáticos de reconstrucción de accidentes, como más adelante se desarrollará, constituyen herramientas auxiliares importantes y que cada día supondrán mayor ayuda en la reconstrucción de los hechos, ayuda que hoy por hoy no puede sustituir al raciocinio del investigador, fundamentalmente sustentado en el conocimiento psicológico del *factor HOMBRE*, predominante en la presunta responsabilidad de los accidentes, y en el hecho incuestionable de que, en definitiva, el investigador –*el hombre*– es el que suministra los datos a la máquina –el programa informático– y que ésta trasladará al resultado final, resultado que variará sustancialmente en función de pequeñas variaciones en éstos, como podremos comprobar en los ensayos que en el apartado de “programas informáticos” se han anunciado.

5. Fuente: Lynn B. Fricke, de la Northwestern University Traffic Institute, en su texto “Momentum Applications in Traffic Accident Reconstruction”.

**17.4.- DESARROLLO SECUENCIAL DEL ACCIDENTE, PARA CADA UNIDAD DE TRÁFICO O ELEMENTO ANÁLOGO.** Tras la emisión de hipótesis sobre el *Cómo* se produjo el accidente, obtenidos los resultados de los cálculos físico-dinámicos y con el apoyo puntual de los Programas informáticos de reconstrucción, se inicia propiamente la *RECONSTRUCCIÓN DEL ACCIDENTE*, es decir, la *reposición de cada elemento o factor que intervino en él, para cada momento y lugar en que fue actualizándose el evento*, principalmente en las situaciones *antes, durante y después* de la colisión, adjudicándosele a cada *unidad de tráfico* un comportamiento u otro con respecto a su “*itinere*” (reflejado en el croquis), en función de las acciones (evasivas) y sus resultados, teniendo presente la *Teoría de la Evolución del Accidente*.

La principal *premisa de la reconstrucción* es una *amplia y correcta información*, premisa de la que debe gozar el atestado, informe técnico y demás documentos confeccionados por el agente encargado de ello (v.gr.: Guardia Civil, o Policía Local, de Tráfico), pues por su *inmediatez* en la intervención, tanto en el sentido temporal como en el material y formal, lo hacen *testigo privilegiado* de hechos, circunstancias, huellas, vestigios, pruebas y en general *de aquellos elementos efímeros e irreproducibles*, que en su mayoría, registrados con los requisitos legales y ratificados por él en la vista oral, pueden llegar, *sin encajar exactamente en el perímetro de la Prueba Preconstituida o Anticipada a ser aprovechables como elementos de juicio coadyuvantes* (STC 157/1995), como pueden ser *huellas de frenado* (huellas de fricción, en general), *croquis, fotografías y Prueba de alcoholemia* (ficha de Sintomatología y Comportamiento).

Estas reconstrucciones “secuenciales” se pueden plasmar tanto en:

a.- *Croquis o gráficos* (v. gr.: distintos croquis o esquemas “continuados” que representan diferentes *Posiciones*, es decir, *momentos*, o lo que es lo mismo la conjunción de *tiempo y lugar* –espacio- del “*itinere*” de las unidades de tráfico implicadas en el accidente).

b.- *Expresiones videográficas* (v. gr.: representación animada de filmaciones del lugar de los hechos y de reconstrucciones “infográficas” que pretenden representar con imágenes, el hecho real).

c.- *Exposiciones verbales* (v. gr.: lo que en el *atestado e Informe Técnico* se conoce como “*el desarrollo*” del accidente).

## 17.2.- SEGUNDO ANÁLISIS. El Método.

17.2.1. EL PROBLEMA. El accidente de tráfico y sus consecuencias suponen para la sociedad uno de los más acuciantes *problemas* que debe resolver, planteándose éste, inicialmente desde la perspectiva singular del accidente (microinvestigación), de la que se pueden derivar responsabilidades penales, civiles y/o administrativas, para a partir de la información obtenida, fundamentalmente con respecto a las *causas*, en una segunda fase y considerando el estudio global de los accidentes ocurridos en una determinada región, llegar tras el análisis de los parámetros de accidentabilidad obtenidos (macroinvestigación), a adoptar las medidas preventivas y paliativas oportunas.

De lo expuesto hasta ahora, cabe obtener como primeras conclusiones que la investigación de accidentes constituye sin lugar a dudas una parcela más de la *ciencia* y que ésta necesita el empleo de un *método* para poder llegar a determinar comportamientos, condiciones, actos o negligencias que puedan constituir la *causa*<sup>1-A</sup>, genéricamente considerada, de los accidentes.

Si damos por válido que el accidente de circulación constituye el *problema* que va a ser objeto de estudio y que este estudio pretendidamente *científico*, partiendo de los *efectos* ya producidos (v. gr.: invadir un vehículo el carril de su izquierda), aspira a conocer las *causas* (*categoría* de relación, causa-efecto, -Kant-; v. gr.: ¿distracción del conductor?, si fuere así, ¿qué clase de distracción?: fatiga, alcohol, enfermedad, actividad de distracción –teléfono móvil, charla o disputa, etc.-, etc.) del mismo, esto nos debe llevar a la necesidad, en principio, de determinar el *método* idóneo para ello.

La perspectiva jurídica de la aplicación, en sentido amplio, del “*método científico*” a la investigación de accidentes, la incardino dentro de los problemas básicos de la Filosofía del Derecho y concretamente dentro de la *función social de resarcimiento* que si bien afecta exclusivamente a la profesión jurídica, para el éxito de esta función, el investigador de accidentes de tráfico colabora subordinadamente con la Administración de Justicia, a través de la *función social práctica de cooperación*, proporcionando al Juez el resultado de la investigación, que como policía judicial ha llevado a cabo en el accidente de circulación concreto, y proponiéndole las causas que en el mismo ha observado, colaboración que se extiende además a la Administración del Estado, para que con los datos aportados a través de los Cuestionarios Estadísticos, ésta esté en condiciones de aplicar medidas preventivas y paliativas para atajar el *problema*.

El “*método científico*” (desde Platón 428-347, a. C. y Aristóteles 384-322, a. C., hasta Bertrand Russell<sup>2-A</sup>, pasando por Galileo<sup>3-A</sup> y fundamentalmente por Kant<sup>4-A</sup>) *aplicado* en lo que cabe, en sentido amplio, a la *investigación de accidentes de tráfico*, como estudio sistemático de la naturaleza de éste, incluye las técnicas de la observación, reglas para el razonamiento y la predicción, ideas sobre la experimentación planificada y los modos de comunicar los resultados o conclusiones.

Enfoques platónicos como la *deducción* (forma de razonamiento que consiste en partir de un *principio general* conocido para llegar a un *principio particular* desconocido, proceso inverso al de la inducción), aristotélicos como la *inducción* (razonamiento que va de lo particular a lo general, de las partes al todo, de los hechos y fenómenos a las leyes, de los efectos a las causas, etc.), y de *verificación sistemática* (Galileo)<sup>3-A</sup> (Bernard, Claude)<sup>5-A</sup>, se traducen en fases como *realizar* observaciones, recogida de datos, experimentos, análisis e interpretación, *formular* hipótesis, y

*extraer* resultados y conclusiones, que son características de cualquier investigación y evidentemente del desarrollo del método científico.

Habiendo sido desarrolladas hasta ahora *la observación, recogida y registro de la información*, así como *la investigación técnica o verificación y la reconstrucción* del accidente, queda por tanto perfeccionar “*el método*” en lo siguiente:

17.2.2.- EMISIÓN DE HIPÓTESIS SOBRE EL PORQUÉ SE PRODUJO EL ACCIDENTE. *La hipótesis representa la primera fase indispensable del método científico. La hipótesis puede definirse como una proposición cuya verdad o validez no se cuestiona en un primer momento, pero permite iniciar una cadena de razonamientos que, desde luego, posteriormente deben ser adecuadamente verificados.*

Recordando lo ya dicho con respecto a las hipótesis de que *los hechos no deben adaptarse a una hipótesis, sino, al contrario, la hipótesis a los hechos.*

Así, un “razonamiento por hipótesis” es aquel que comienza “suponiendo” la validez de una afirmación, es decir, que tiene cierta concordancia con los hechos que han acaecido y que están meridianamente claros para la razón humana, aunque tras la realización de las pericias (pruebas experimentales) oportunas o el razonamiento objetivo, pueda llegarse a la conclusión de que es inadecuada (se descarta), o lo que es lo mismo, una hipótesis, es y debe ser *contrastable*. La formulación de hipótesis no siempre es posterior a la recogida de datos (la recogida de datos no debe ceñirse única y exclusivamente a la práctica de la inspección ocular en el lugar del accidente, en tiempo inmediato a su ocurrencia), muchas veces es anterior y sirve de guía para determinar el tipo de datos a recoger.

El planteamiento de hipótesis llevará a la formulación de éstas con el objeto de dar respuesta a las cuestiones del problema ya anunciado, el accidente de circulación, si bien, si consideramos que las primeras han recibido cumplida respuesta, deben estar claras como ya se ha expuesto, *in claris non fit interpretatio*, luego se reduce la emisión de hipótesis a la siguiente:

17.2.2.1.- **Hipótesis sobre el porqué, referido a la causa del accidente.** El *porqué*, es decir *la causa o causas*, se deberá/n a uno o varios de los elementos o factores que intervienen en el accidente, luego las hipótesis serán formuladas con las premisas anteriores y por tanto con respecto al *hombre*, a la *vía* y su entorno y al *vehículo*, en función del problema concreto objeto de estudio.

Estas hipótesis estarán originadas, fundamentalmente, en:

1. La investigación a realizar como consecuencia de las distancias en el *tiempo y espacio* que entre las distintas posiciones de la Teoría de la Evolución del Accidente se pueden dar.
2. Los testimonios de conductores, peatones, usuarios, testigos y otros participantes.
3. Las propias observaciones que con respecto a los tres factores que intervienen en el accidente, el investigador pueda realizar durante la práctica de la Inspección Ocular, considerada ésta en sentido amplio.
4. El resultado o conclusiones de informes periciales, que oportunamente se hallan practicado con respecto al caso.

17.2.3.- JUSTIFICACIÓN DE HIPÓTESIS. LA CONVICCIÓN. *Formulada adecuadamente una hipótesis, debemos proceder a su justificación, esto es, probar con razones, testigos y documentos si es adecuada y por tanto se VERIFICA (ACEPTA), o por el contrario es REFUTADA (se DESCARTA).*

*El proceso debe llevarse a cabo mediante el estudio razonado y objetivo<sup>4-A</sup> a través del contraste de los datos obtenidos de las fuentes y la experimentación, hasta corroborar la adecuación de la hipótesis, el esclarecimiento del problema, y su posible resolución.*



Existen ciertas premisas que la experiencia ha demostrado ser de utilidad en el establecimiento de las hipótesis y de los resultados que se basan en ellas:

1. Las hipótesis no tienen *numerus clausus*, ni tienen limitación temporal dentro del proceso de investigación, si bien es conveniente que respecto de ellas se tenga en cuenta la locución latina *uti, non abuti*.
2. Probar primero las hipótesis más sencillas (**v. gr.:** que el firme de la carretera estaba *mojado*, o que los neumáticos del vehículo estaban *lisos* –carentes de dibujo en la banda de rodadura–), acelera y despeja el proceso, y ayuda a probar hipótesis más complejas.
3. No considerar una hipótesis como totalmente cierta<sup>2-A</sup>.
4. Realizar pruebas experimentales independientes<sup>5-A</sup> antes de aceptar un único resultado experimental.

Estas hipótesis pueden ser contrastadas mediante los *datos* de:

**a. Pruebas** obtenidas por el investigador en la inspección ocular con respecto a:

1. *La vía* (**v. gr.:** huellas, vestigios, condiciones climatológicas, ambientales, etc.).
2. *El vehículo* (**v. gr.:** del examen pericial de los órganos y elementos del mismo, con especial referencia a su comportamiento y respuesta antes, durante y después del accidente).
3. *El hombre* (condiciones psico-físicas antes y durante el evento, **v. gr.:** ¿tenía un defecto de visión y no llevaba en uso gafas o lentes de contacto?, tener en cuenta las restricciones del permiso de conducir; padecía alguna enfermedad, estaba en tratamiento médico, y si es así, qué tipo de tratamiento o fármacos tomaba, etc.).

**b. Testimonios** de:

1. *Implicados* (conductores, usuarios, testigos).
2. *Personas relacionadas* (*plan de viaje*: **v. gr.:** manifestaciones de empleados de estaciones de servicios, restaurantes de carretera, talleres mecánicos, Médico de familia, amigos, familiares, compañeros de trabajo, etc.).

**c. Pericias.**

1. *Métodos empíricos* (pruebas objetivas realizadas por el propio investigador o por otros investigadores)<sup>6-A</sup>.
2. *Cálculos físico-dinámicos* (hojas de cálculo), **v. gr.:** el conocimiento de una determinada velocidad, puede ser determinante para dilucidar sobre si se respetó o no, la prioridad de paso en un cruce.
3. *Programas informáticos* de reconstrucción de accidentes, por similares razones que las apuntadas en el punto anterior.

En la *dinámica del proceso*, la reconstrucción de los comportamientos, condiciones, actos o negligencias, se asemejará a la confección de un puzzle donde cada pieza (*dato*) encajará con otra determinada (*otro dato*) y no con cualquiera por muy parecida o semejante que sea, y ello como resultado de la aplicación de la lógica y la razón objetiva.

Como consecuencia al proceso de *justificación* de las hipótesis, con el apoyo en los *datos* de información considerados, se ha de llegar por el investigador a la *convicción* de la *aceptación* (verificación) o *descarte* de las hipótesis estudiadas, es decir, que se dan o no aquellos comportamientos, condiciones, actos o negligencias (elementos de la definición de causa de J.S. Baker), alcanzando la categoría de *causa* (genéricamente considerada), las primeras.

La clasificación de las causas, considero que sería objeto de otro ensayo distinto al presente, pero si consideramos aceptable la definición de *causa* de J.S.Baker<sup>1-A</sup>, y por tanto la preeminencia de “unas” (“*aquella sin la cual el accidente no se hubiera producido*”), sobre “otras” (“*aquella que por si sola no hubiera producido el accidente*”), es fácil colegir que de entre todas las anteriormente consideradas, es decir, todas aquellas que fueron aceptadas tras su justificación, al menos “una” podrá

encajar en la definición de Baker, y las “otras” habrán contribuido al accidente, coadyuvando a su producción, a su resultado, o a ambas cosas a la vez.

Cabe por último, y con respecto a las *causas*, matizar lo ya apuntado sobre la diferencia que existe entre la *causa* y su *efecto* (J. Borrell), y el error significativo que se comete cuando no se les distingue, **v. gr.:** cuando conceptos como “invadir parcialmente el sentido contrario”, “girar incorrectamente”, “no mantener intervalo de seguridad”, etc., todos ellos considerados como “Presuntas infracciones del conductor”, del Cuestionario estadístico de Accidentes de Circulación con Víctimas (Orden del Mº de Relaciones con las Cortes y de Secretaría del Gobierno, de fecha 18-2-93), y pueden ser valorados como *causa* del accidente, en lugar del *efecto* de la misma.

*Causa* que podrá ser la *fatiga*, la *distracción* genéricamente considerada, *comportamiento antisocial* –desprecio a las normas-, etc., y que como consecuencia de ella, la invasión de la izquierda, girar incorrectamente o no guardar el intervalo de seguridad, serán el *efecto*.

**17.2.4.- LA CREATIVIDAD INTUITIVO-ARTÍSTICA DEL INVESTIGADOR. EL PROGRESO EN LA INVESTIGACIÓN.** No obstante lo anteriormente expuesto, nada más lejos de la realidad sería el considerar que *el método* ha de ser considerado como el único, adecuado o correcto, ni tan siquiera que aún siendo el correcto fuese un método rígido, sino todo lo contrario, el método que aquí se propone (y que parte conceptualmente del método científico) es parte de la teoría general del hombre, y en esa concepción generalista no debemos quedarnos sólo en esquemas predeterminados o estandarizados que no nos permitan avanzar o ver las cosas desde otros puntos de vista, incluso con intuición artística, es decir, el investigador de accidentes tendrá en consideración el *método* y, cuando éste no dé respuesta al esclarecimiento o resolución del problema, o aun cuando sí lo haga, no debe dejarse seducir pensando que por fin ha encontrado la descripción correcta de “los hechos” (Paul K. Feyerabend)<sup>7-A</sup> (Reflexión de Bertrand Russell)<sup>2-A</sup>, deberá además, para conseguir su objetivo, ser creativo, imaginativo y en cierto modo, artista, pues ello le llevará al *progreso* de la técnica de investigación y en definitiva al *progreso del método* (“La separación existente entre las ciencias y las artes es artificial”)<sup>7-A</sup>, y, lo que es más importante, al mejor resultado.

**17.2.5.- CONCLUSIÓN: DETERMINACIÓN DE LAS CAUSAS.** *Finalizado el proceso de justificación se tiene que estar en condiciones de emitir una conclusión, y como ésta es una consecuencia experimental, debe ser reproducible, es decir, ha de estar planteada y descrita de forma que pueda ser repetida por el investigador (fundamentalmente en el acto de la Vista Oral) o por cualquier otro investigador.*

Llegados a este punto de la microinvestigación de accidentes de tráfico, se estará en condiciones de exponer como resultado o conclusión las **causas** del evento, y que estarán originadas en uno o varios de los factores o elementos que intervienen en el accidente, sin descartar, además de los tres factores clásicos, otros factores como la *supervisión policial* y la *normativa reguladora de la seguridad vial*<sup>8-A</sup>.

De todos los investigadores es sabido que el accidente de tráfico es el resultado de un proceso en el que se encadenan diversos eventos, condiciones y conductas que difícilmente se pueden encerrar en una posición simplista o simplificadora del *problema* con la determinación de una sola causa, como la determinante, es decir, la conclusión precisará probablemente:

1. *Una/s causa/s* que reúna/n las condiciones de la definición generalista de Baker de “aquella sin la cual no se habría producido el accidente”,  
**pero además de ésta/s, existirán y aparecerán...**
2. Otras causas que sin haber dado lugar al accidente, coadyuvarán a su producción y / o a su resultado final.

17.2.6.- **CAUSAS (CLASIFICACIÓN).** Finalizado dicho estudio, se enumeran las **causas MEDIATAS** e **INMEDIATAS**, relativas a las personas, vehículos y vía con sus circunstancias ambientales, realizándose entre éstas un estudio con el objeto de determinar la **causa PRINCIPAL** o **causa EFICIENTE**, no sin antes tener en cuenta lo siguiente:

J. S. BAKER<sup>1-A</sup>, define **LA CAUSA** de un accidente como “Cualquier comportamiento, condición, acto o negligencia *sin el cual el accidente no se hubiera producido*”, es decir, como más adelante veremos, la que conocemos como **CAUSA PRINCIPAL** o **CAUSA EFICIENTE**.

No obstante existen **otras causas** y, aunque es difícil una clasificación de éstas, siendo muy diversos y dispares e incluso contradictorios los criterios mantenidos por los investigadores, la Agrupación de Tráfico de la Guardia Civil, en su libro “Investigación de Accidentes de Tráfico”, estima adecuada la clasificación realizada por Miguel López-Muñoz Goñi en su libro “Accidentes de Tráfico, Problemática e Investigación”, si bien en el presente trabajo me permito, sin salirme de dicha clasificación, expresar algunas matizaciones.

17.2.6.1.- **CAUSAS MEDIATAS**, consideradas como aquellas que en sí mismas no dan lugar al accidente, pero conducen hacia él o coadyuvan a su materialización. Ahora bien, ha de quedar perfectamente claro, como se hace constar en el libro de “Investigación de Accidentes de Tráfico” de la Guardia Civil, que estas causas **NORMALMENTE** -pues no se puede emplear el término **NUNCA** al hablar de esta materia, dado que la casuística es muy variada- no darán lugar al accidente sino que coadyuvarán a su producción y/o resultado final.

Llegados a este punto, he de llamar la atención sobre que, **¡Si!** existen causas **MEDIATAS** que pueden alcanzar la consideración de **causa PRINCIPAL** o **causa EFICIENTE**, como lo demuestran estudios existentes, y en concreto el realizado por el T.R.R.L. (Transport and Road Research Laboratory) británico, en el que se recoge, sin entrar en el fondo del mismo, que las causas **MEDIATAS** (es decir, las no matizadas por el elemento humano) constituyeron el 5'1 % de la casuística objeto de dicho trabajo, es decir, accidentes en los que **SÓLO** se consideró causante del mismo, al vehículo ( 3%), a la vía (2%) y al conjunto vía-vehículo (0'1%) .

Las **causas MEDIATAS** pueden ser:

- **Relativas al vehículo** (anomalías mecánicas en vehículo y neumáticos);
- **A la vía** (trazado, estado de conservación y rodadura, señalización, obstáculos, etc.);
- **A fenómenos atmosféricos** (lluvia, viento, nieve, niebla, deslumbramiento solar, etc);
- **Al conductor** (físicas o somáticas, psíquicas, falta de conocimiento, experiencia o pericia), y
- **A otras circunstancias** no comprendidas en los anteriores (v. gr.: un insecto que se introduce en el vehículo, una piedra que golpea el parabrisas, etc.).

17.2.6.2.- **CAUSAS INMEDIATAS**, entendidas como *aquellas que de forma directa intervienen en el accidente*. Son en esencia, *las mismas causas mediatas aunque matizadas, en su mayoría, por el elemento humano*.

Estas causas estarán referidas a:

• **Infracciones a la normativa sobre circulación y tráfico** (especial atención a la velocidad, si fue determinante y si se pudo calcular, matizando siempre si se trata de velocidad excesiva, velocidad inadecuada o cual es la otra infracción cometida),

• **Deficiencias en la percepción** (incidencia de la deficiencia física o somática, en el hecho concreto, es decir, que la condición, peligro o circunstancia anormal *debió ser percibida* - fundamentalmente por la vista y en muy pocas ocasiones por el oído- en un momento y que *fue percibida* con retraso o *no fue percibida*),

• **Errores en la evasión** (incidencia activa de los conocimientos y experiencia, en la maniobra evasiva, si es que la llegó a efectuar),

• **Condiciones negativas** (psíquicas, ambientales, emocionales, circunstanciales, es decir, aquella que da lugar a una conducta antisocial o peligrosa como *kamikaces*, juegos de rol, etc),

• **Otras** no comprendidas en las anteriores, y entre las que cabe incluir, a todas aquellas mediatas que están matizadas por el factor humano (**v.gr.:** tener defecto físico consistente en una disminución de la visión –de tenerlo y no saberlo, sería *causa mediata*-, necesitar lentes correctoras para la conducción, y no usarlas en el momento de la conducción).

17.2.6.3.- **CAUSA PRINCIPAL o CAUSA EFICIENTE**, es decir, *aquella* (aquellas) *de entre todas las intervinientes* (Mediatas e Inmediatas), *sin la cual el accidente no habría tenido lugar*.

17.2.7.- **DESARROLLO DEL ACCIDENTE. RELATO SECUENCIAL DE LA RECONSTRUCCIÓN.** A continuación, por escrito u otro medio gráfico de los citados, se desarrolla el evento (relato cronológico de las posiciones citadas en la teoría de la evolución del accidente), mediante la narración de forma cronológica y coordinada para cada unidad de tráfico, o elemento análogo, implicada en el accidente, de cómo se fueron produciendo los hechos constitutivos del suceso, desde las posiciones iniciales a las finales, con cita de todas las causas como resultado de las hipótesis estudiadas, con especial atención a la exposición de la/s **CAUSA PRINCIPAL o EFICIENTE**, como determinante para la conclusión del proceso de investigación.

Finaliza el *desarrollo* (relato secuencial del accidente) con un resumen del resultado del accidente (fallecidos, heridos y daños materiales).

**17.2.8.- UN CASO PRÁCTICO.** Supongamos un accidente de circulación con el siguiente esquema-resumen: “Un turismo circula a 140 kilómetros hora por una vía limitada a 80 kilómetros hora, siendo el tramo de dicha vía, recto y sin obstrucciones visuales permanentes. El vehículo lleva instalados neumáticos con una profundidad en las ranuras del dibujo de la banda de rodadura de las ruedas, inferior al legalmente establecido (menos de 1’6 mm.). En dichos momentos esta lloviendo y por tanto la calzada se encuentra mojada. Al llegar dicho turismo a un cruce con preferencia y a nivel con otra vía, un ciclomotor cruza la primera llevada por el turismo, por lo que el conductor de éste realiza una severa frenada y bloquea las ruedas de su vehículo (carece de ABS), a pesar de lo cual colisiona fronto-lateralmente con el ciclomotor”.

A primera vista, y sin necesidad de profundizar en la práctica de la inspección ocular, observamos que se dan una serie de circunstancias (“*causas*”) que participando en el accidente, tienen diferente valoración, a saber:

1º. Exceso de velocidad. Es evidente que si podemos determinar la velocidad de 140 kilómetros hora (por la propia manifestación, por física y dinámica, u otra forma –radar, tacógrafo, etc.-), su sola comparación con la establecida reglamentariamente, no dice que es *una causa del accidente*.

2º. Mal estado de los neumáticos. Si en el momento del accidente estaba lloviendo y el pavimento se encontraba mojado, probablemente la falta de profundidad de las ranuras del dibujo de la banda de rodadura del neumático contribuyó como *causa del accidente*.

3º. La lluvia. Interviene la lluvia afectando a dos elementos:

- a. Pavimento. Las condiciones de rodadura se alteran sensiblemente en presencia del agua.
- b. Visibilidad. Las condiciones de visibilidad merman con la caída de la lluvia, por dos razones:
  1. *Extrínseca al vehículo*: Visibilidad exterior del escenario de los hechos, al quedar reducido el alcance y efectividad de la visión del panorama circundante al vehículo por la caída de la lluvia (dependerá de la intensidad de ésta).
  2. *Intrínseca al vehículo*: Visibilidad obstaculizada por la caída de la lluvia sobre el parabrisas y consiguiente funcionamiento de los

limpiaparabrisas, que igualmente limitan la visibilidad del escenario de los hechos.

Es por tanto una circunstancia que interviene en los hechos, y debe ser considerada como *una causa del accidente*.

4º. Caso omiso a una señal de obligación. El conductor del ciclomotor, no respeta la señal de vía preferente (STOP o CEDA EL PASO), e irrumpe en la vía preferente, llevada por el turismo, lo que evidentemente supone *una causa del accidente*.

Simplificando el accidente, es decir teniendo en cuenta solo los puntos (datos) anteriores, y como ya se dijo, sin profundizar en la inspección ocular, se nos presentan *cuatro causas del accidente*, causas que deben ser investigadas y analizadas para proceder a su clasificación en orden a la incidencia en el evento, clasificación que, recordando la antes expuesta y las definiciones de causas aceptadas en el Libro de Investigación de Accidentes de la Academia de Tráfico de la Guardia Civil, puede tener el siguiente esquema:

**CAUSAS MEDIATAS.** *Aquellas que en sí mismas, normalmente, no dan lugar al accidente, pero conducen hacia él o coadyuvan a su materialización:*

- La lluvia.
- Neumáticos. (salvo que el conductor fuera consciente del mal estado de los neumáticos y a pesar de ello, circulara con las condiciones climáticas adversas, pues en este caso, al estar “matizada por el elemento humano”, la inicial *causa mediata*, se convertiría, por definición, en *causa inmediata*).

**CAUSAS INMEDIATAS.** *Aquellas que de forma directa intervienen en el accidente. Son en esencia, las mismas causas mediatas aunque matizadas, en su mayoría, por el elemento humano:*

- Exceso de velocidad.
- Caso omiso a señal de prioridad de paso.

De entre las anteriores, hay que “razonar” cuál o cuales pueden, o deben, ser consideradas como **CAUSA PRINCIPAL** o **CAUSA EFICIENTE**, es decir, *aquella sin la cual*, y según la definición de causa de J.S.Baker, *no se habría producido el accidente* (el accidente que se investiga y no otro parecido o similar, o sea, no se debe extrapolar la investigación de un accidente a otros casos similares, por muy parecidos que éstos nos puedan parecer).

Por lo anterior, en el presente caso (con los solos elementos considerados) se puede realizar el siguiente razonamiento:

**CAUSA PRINCIPAL O EFICIENTE:**

Si bien es cierto, y como tal se acepta, que el turismo circulaba a una *velocidad excesiva* para la señalización existente (limitada a 80 kilómetros hora), y a *velocidad inadecuada* por las condiciones atmosféricas reinantes (lluvia), éstas por si solas no habrían producido el accidente que se estudia (se podría haber producido otro, pero no es aquí el caso).

También es cierto, y como tal se acepta, que *estaba lloviendo* y ello produjo una merma en las condiciones de visibilidad (extrínseca e intrínseca al vehículo), ésta por si sola no habría producido el accidente que se estudia.

Igual valoración, y como tal se acepta, que el estado de *los neumáticos* contribuyó a que la reducción de la velocidad y detención del vehículo turismo, entre otras circunstancias, no se produjera de forma adecuada para evitar el accidente (por ejemplo la velocidad y la distancia a la que el conductor se apercebía o debió apercebirse de la irrupción del ciclomotor –situación de peligro–), pero ésta por si sola no habría producido el accidente que se estudia.

No es menos cierto, y como tal se acepta, que a pesar de las circunstancias anteriores, si el ciclomotor no irrumpe en la vía preferente, en el momento que por ésta circulaba el turismo, *éste accidente no se habría producido*, o lo que es lo mismo, *el no respetar la señal de obligación (STOP*





*o CEDA EL PASO), es la causa sin la cual el accidente (el que es objeto de esta investigación) no se habría producido y por lo tanto es la CAUSA PRINCIPAL O EFICIENTE del mismo.*

*Evidentemente y como ya se ha apuntado, las otras tres causas contribuyeron a la producción y/o al resultado del accidente.*

Todavía y con respecto a estas causas se podría realizar una subclasificación de ellas, es decir se podría determinar el alcance de su aportación al accidente, de la siguiente forma:

*Coadyuvando al resultado:* Es evidente que a mayor *velocidad* el resultado del accidente, desde el punto de vista lesivo, es mayor.

*Coadyuvando a su producción:* El deficiente estado de *los neumáticos* y *la lluvia* contribuyeron a que el vehículo no se detuviera y por tanto a que el accidente se produjera.

*Coadyuvando al resultado y producción:* Si aún profundizamos en el análisis de estas circunstancias-causas, podríamos llegar a decir que en cierto modo *la velocidad* y *la lluvia* coadyuvaron tanto al resultado como a su producción:

1º. Si el vehículo hubiera circulado a 80 kilómetros hora, se podría haber dado la circunstancia de que el ciclomotor se hubiese incorporado a la vía de forma adecuada y con la suficiente antelación al paso por la intersección del turismo.

2º. Si el pavimento se hubiera encontrado seco por ausencia de lluvia, el accidente se habría producido, probablemente y en la peor de las circunstancias, a menor velocidad y por lo tanto el resultado hubiera sido, desde el punto de vista lesivo para las personas y las cosas, menor.

## **TEMA XVIII**

### **TÍTULO: FUNDAMENTOS FÍSICOS PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES-I.**

#### **A.- ESQUEMA:**

##### **18.1.- INTRODUCCIÓN.**

##### **18.2.- UNIDADES FUNDAMENTALES Y MAGNITUDES DERIVADAS.**

##### **18.3.- CINEMÁTICA.**

18.3.1.- ¿QUÉ ES EL MOVIMIENTO?.

18.3.2.- ¿CÓMO SE MIDEN LOS CAMBIOS DE POSICIÓN DE UN CUERPO?.

18.3.3.- NOCIONES DE CÁLCULO VECTORIAL.

18.3.3.1.- *Magnitud escalar.*

18.3.3.2.- *Magnitud vectorial o cinemática.*

18.3.3.2.1. *Representación gráfica de un vector.*

18.3.3.2.2.- *Componentes de un vector.*

18.3.3.3.- *Operaciones básicas con vectores. Suma de vectores.*

18.3.3.3.1.- *Distintos casos en la suma de vectores:*

18.3.3.4.- *Diferencia de vectores.*

18.3.3.5.- *Producto de un vector por un escalar.*

18.3.3.6.- *Vector unitario.*

18.3.4.- **DESPLAZAMIENTO, VELOCIDAD Y ACELERACIÓN.**

18.3.4.1.- *Movimiento en una dimensión.*

18.3.4.2.- *Desplazamiento.*

18.3.4.3.- *Velocidad. Velocidad media*

18.3.4.3.1.- *Velocidad instantánea.*

18.3.4.4.- *Aceleración*

18.3.4.4.1.- *Cálculo de la velocidad en función de la aceleración.*

18.3.4.5.- *El movimiento rectilíneo uniforme (MRU).*

18.3.4.6.- *Movimiento rectilíneo y uniformemente acelerado (MRUA).*

18.3.4.7.- *Aceleración debida a la gravedad.*

## **TEMA XVIII**

### **TÍTULO: FUNDAMENTOS FÍSICOS PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES-I.**

#### **B.- DESARROLLO:**

**18.1.- INTRODUCCIÓN.** La *física clásica* normalmente se refiere a la *mecánica*, la luz, el calor, el sonido, la electricidad y el magnetismo. Las leyes de la *física* son generalizaciones procedentes de las observaciones de los resultados experimentales. Las leyes físicas se expresan normalmente como ecuaciones matemáticas que posteriormente se utilizan para realizar predicciones respecto a otros fenómenos y para verificar el margen de validez de las mismas. Así pues para comprender la física a cualquier nivel superior a una simple descripción cualitativa se necesita una cantidad considerable de matemáticas.

Es normalmente más sencillo aprender la física y las matemáticas necesarias casi al mismo tiempo. Con la resolución de problemas prácticos se estará en condiciones de aprender la física y matemáticas necesarias para los cálculos elementales utilizados en la investigación de accidentes.

La *dinámica*, como parte de la *mecánica*, es aquella rama de la *física* que estudia el movimiento y las fuerzas que en el mismo intervienen. Es obvio que en todo accidente interviene un movimiento o conjunto de movimientos, y de ellos resultan una serie de fuerzas que actúan de muy diversas maneras. Para poder profundizar en el conocimiento de los accidentes y valorar debidamente los elementos que intervienen en ellos (que muchas veces son más complejos de lo que se puede creer) debemos tener una idea lo más amplia posible de las diversas fuerzas que se ejercen sobre el movimiento de los automóviles, o que se derivan de las situaciones anormales ocasionadas por los siniestros de tráfico.

**18.2.- UNIDADES FUNDAMENTALES Y MAGNITUDES DERIVADAS.** ¿Qué es una *magnitud* en física?. Frecuentemente se oyen afirmaciones como “este coche va muy rápido”; esta frase no permite establecer comparaciones, ya que el término “muy” es totalmente subjetivo, es decir, depende de la valoración que haga la persona sobre el fenómeno en cuestión.

¿Cómo podríamos determinar si un coche va más rápido que otro?. Para responder a esa cuestión necesitamos conocer lo que es la rapidez. De no ser así lo primero que hay que hacer es definirla. Esta definición deberá ser operativa, de modo que se pueda medir y comparar. Llamamos *magnitud física* a toda propiedad de un cuerpo que sea mensurable.

Si intentamos definir la rapidez de un cuerpo, llegaremos a la conclusión de que se trata de una relación entre el espacio que recorre y el tiempo que tarda en hacerlo, es decir que para esta definición hemos recurrido a otras magnitudes físicas, el espacio recorrido y el tiempo empleado. A las magnitudes que se definen a partir de otras se les denominan *magnitudes derivadas*, así pues la velocidad es una magnitud derivada. Las magnitudes que se definen sin ese recurso se llaman *magnitudes fundamentales*. La *longitud*, la *masa* y el *tiempo* son las primeras magnitudes fundamentales que vamos a estudiar. Las restantes magnitudes las definiremos a partir de estas tres.

¿Qué es medir una magnitud física?. Medir es comparar una cantidad de una magnitud con otra cantidad de la misma magnitud, que se toma como patrón y que se denomina *unidad*.

Las unidades deben cumplir unas ciertas condiciones:

1. Ha de ser constante.
2. Ha de ser universal.
3. Ha de ser fácil de reproducir.

Una vez definidas las magnitudes le debemos asignar a cada una, una unidad de medida. Para ello, los científicos han creado el *Sistema Internacional de Unidades* (SI), también conocido como *Sistema mks* (porque sus tres primeras unidades fundamentales son: el metro, el kilogramo-masa y el segundo). Es el actualmente más utilizado y constituye el idioma técnico-científico universal.

Algunas de las *magnitudes fundamentales* que con más frecuencia se utilizan en la reconstrucción de accidentes.

<i>Magnitud</i>	<i>Unidad</i>	<i>Símbolo</i>
<b>Longitud</b>	<b>Metro</b>	<b>M</b>
<b>Masa</b>	<b>Kilogramo</b>	<b>kg</b>
<b>Tiempo</b>	<b>Segundo</b>	<b>s</b>
Corriente eléctrica	Amperio	<b>A</b>
Temperatura	Kelvin	<b>K</b>
Cantidad de materia	Mol	<b>mol</b>
Intensidad luminosa	Candela	<b>cd</b>

Y algunas de las *magnitudes derivadas* de las anteriores, que con más frecuencia se utilizan en la reconstrucción de accidentes, son:

<i>Magnitud</i>	<i>Unidades</i>	<i>Símbolo</i>
Área	Metro cuadrado	<b>m<sup>2</sup></b>
Volumen	Metro cúbico	<b>m<sup>3</sup></b>
Densidad	Kilogramo/m <sup>3</sup>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>
Momento de una fuerza	Newton por metro	<b>N·m</b>
Velocidad	Metro / segundo	<b>m/s</b>
Aceleración	Metro/s <sup>2</sup>	<b>m/s<sup>2</sup></b>
Fuerza	Newton	<b>N</b>
Presión	Pascal=Newton /m <sup>2</sup>	<b>Pa</b>
Trabajo	Julio=Newton por metro	<b>J</b>
Potencia	Watio=Julio/s	<b>W</b>

Se ha de tener especial cuidado, al operar con fórmulas físicas, de emplear las magnitudes adecuadas, pues si empleamos unidades distintas en los miembros de una ecuación, el resultado carece de sentido.

**Ejercicios.** (pasar de km/h a m/s).

**18.3.- CINEMÁTICA.** Es la parte de la *física* que se ocupa de la descripción de los diferentes *movimientos* que puede realizar un cuerpo, sin tener en cuenta sus causas.

18.3.1.- **¿QUÉ ES EL MOVIMIENTO?** Para saber si un cuerpo está en reposo o en movimiento basta con fijar su posición respecto a un punto y observar si varía en el transcurso del tiempo. Si lo hace, decimos que el cuerpo se mueve respecto a ese punto. El movimiento es relativo, pues hay que tener en cuenta que un cuerpo puede estar en movimiento respecto a un punto y en reposo respecto a otro.

v. gr.: cuando se viaja en un vehículo, la persona va en reposo con respecto a éste y ambos en movimiento con respecto a la tierra.

Esta aparente dicotomía nos indica que no podemos describir el movimiento sin fijar previamente un punto de referencia. Pero no basta con fijar un punto de referencia. Necesitamos medir los cambios de posición del cuerpo que se mueve. Para ello utilizaremos el sistema cartesiano de coordenadas.

Llamaremos *trayectoria* a la línea imaginaria que describe un cuerpo al moverse respecto al sistema de referencia.

18.3.2.- ¿CÓMO SE MIDEN LOS CAMBIOS DE POSICIÓN DE UN CUERPO? Para determinar los cambios que puedan producirse en la posición de un cuerpo sobre la trayectoria, definimos dos nuevos conceptos, *desplazamiento* y *distancia recorrida*.

*Desplazamiento*, entendiéndose por tal, la distancia en línea recta que separa dos posiciones.

La *distancia recorrida* en un intervalo de tiempo cualquiera se obtiene restando las posiciones que ocupaba el cuerpo en los instantes final e inicial ( $s_2 - s_1$  en un tiempo  $t_2 - t_1$ ).

En general el *desplazamiento* y la *distancia recorrida* no coinciden; ello sólo ocurre cuando la trayectoria es rectilínea. Para especificar el cambio de posición de un cuerpo no basta con indicar la distancia recorrida, debe indicarse también la *dirección* y el *sentido* en que se produce el desplazamiento.

18.3.3.- NOCIONES DE CÁLCULO VECTORIAL.

18.3.3.1.- **Magnitud escalar.** Una magnitud física es *escalar* cuando queda determinada por el número que expresa su medida, es decir, una cantidad escalar únicamente tiene magnitud, **v. gr.:** el precio de un automóvil, la presión de un neumático, la energía, la temperatura, etc. Las cantidades escalares, por ser números simples, se suman como cualquier número.

18.3.3.2.- **Magnitud vectorial o cinemática.** Una magnitud es *vectorial* cuando en su determinación necesitamos, además de su medida, una dirección y sentido, es decir necesitamos, para representarla, un *vector*. ¿A qué llamamos *vector*? Un *vector* es un *segmento orientado*.

Las magnitudes vectoriales se indican con una flecha encima del símbolo utilizado y su *módulo* se expresa con las barras de valor absoluto  $|a|$ .

Teniendo en cuenta el punto de aplicación, los vectores son:

**Fijos:** su punto de aplicación es un punto perfectamente determinado.

**Deslizantes:** su punto de aplicación es un punto cualquiera de la recta que determina la dirección del vector.

**Libres:** su punto de aplicación es un punto cualquiera del espacio.

18.3.3.2.1. **Representación gráfica de un vector.** Gráficamente lo representamos por un segmento rectilíneo con una punta de flecha en uno de sus extremos.

En un *vector* conviene distinguir los siguientes elementos:

- 1.- El origen o punto de aplicación (A).
- 2.- El extremo (punta de flecha -B-).
- 3.- La dirección, que coincide con la recta sobre la que se encuentra.
- 4.- El sentido, señalado por la flecha.
- 5.- El módulo o longitud del segmento (AB).



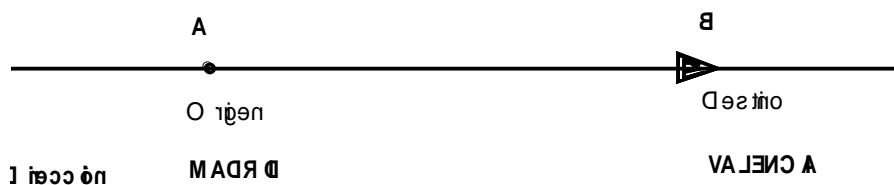


Gráfico 18. Representación gráfica de un vector.

**v. gr.:** Un automóvil que se desplaza hacia Valencia, procedente de Madrid, a 80 km/h., tiene una velocidad vectorial de *modulo* 80 km/hora., una *dirección* Madrid-Valencia y un *sentido* Valencia.

18.3.3.2.2.- **Componentes de un vector.** Supuestos dos ejes de coordenadas X e Y, y un vector  $v$ , a las proyecciones de  $v$  sobre los citados ejes, que determinan los vectores  $x$  e  $y$ , se les llama componentes del vector.

Esto lo indicamos con:  $v = x + y$

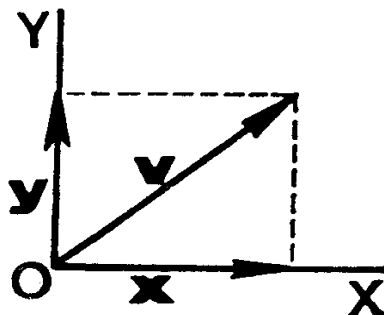


Gráfico 19. Componentes de un vector en un plano.

No se afirma en esta igualdad que el módulo  $v$  es la suma de sus componentes, sino que el efecto físico que produce  $v$  es el mismo que el efecto  $x$  e  $y$  actuando simultáneamente.

Supuestos tres ejes de coordenadas (3 dimensiones) X, Y, Z y un vector  $v$ , las proyecciones de éste sobre los citados ejes, que configuran los vectores  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , son los componentes del vector.

Esto lo indicamos con:  $v = x + y + z$

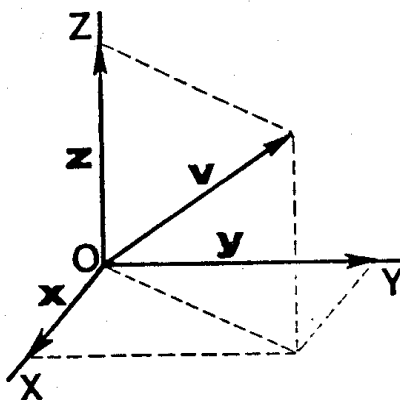


Gráfico 20. Componentes de un vector en tres dimensiones.

No se afirma en esta igualdad que el módulo  $v$  es la suma de sus componentes, sino que el efecto físico que produce  $v$  es el mismo que el efecto  $x, y, z$  actuando simultáneamente.

Los componentes tienen por valor:  $x = v \cdot \cos \alpha$

$$y = v \cdot \cos \beta$$

$$z = v \cdot \cos \gamma$$

Los ángulos  $\alpha \beta \gamma$  son los que forman  $v$  con cada uno de los ejes. A sus cosenos se les llaman *cosenos directores*.

\* **Repaso de trigonometría.** Las funciones trigonométricas se definen en relación con un triángulo rectángulo:

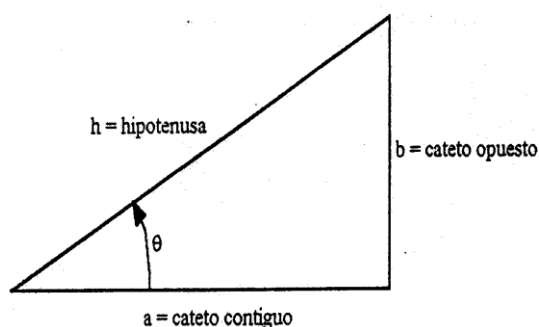


Gráfico 21. Representación de las funciones trigonométricas.

Y se tiene por definición:

$$\text{sen } \theta = b / h$$

$$\text{cos } \theta = a / h$$

$$\text{tang } \theta = b / a$$

18.3.3.3.- **Operaciones básicas con vectores. Suma de vectores.** La suma de dos vectores libres es hallar un vector que produzca los mismos efectos que los sumados, si éstos actuasen simultáneamente.

La proyección del vector suma sobre cualquier recta ha de ser igual a la suma de las proyecciones de los sumandos.

La suma vectorial o geométrica es, en realidad, una suma algebraica de las componentes, realizadas en cada uno de los tres ejes.

18.3.3.3.1.- **Distintos casos en la suma de vectores:**

**a).-** Si dos vectores tienen la misma dirección y sentido, el vector resultante es de la misma dirección y sentido que los sumandos, siendo su módulo la suma de los módulos. Se construye geoméricamente el vector resultante colocando los sumandos uno a continuación del otro.

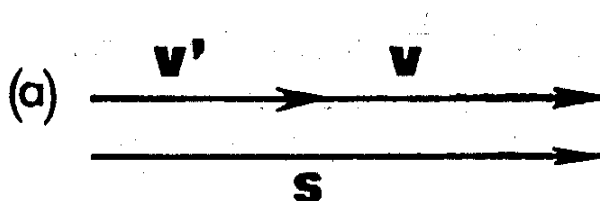


Gráfico 22. Suma de vectores.

**b).-** Si dos vectores son de la misma dirección y sentido contrario, el vector resultante es de la misma dirección que los sumandos, el sentido del mayor y como módulo la diferencia de los módulos, que se halla llevando el vector menor sobre el mayor; el vector resultante es el exceso de éste sobre aquél.

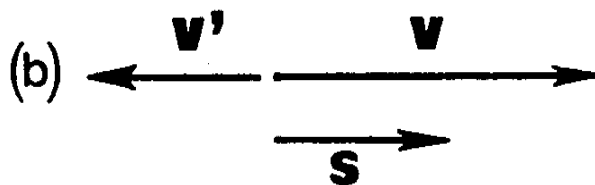


Gráfico 23. Suma de vectores.

**c).-** Si los vectores no tienen la misma dirección, el vector suma es la diagonal del paralelogramo trazado con los vectores como lados.

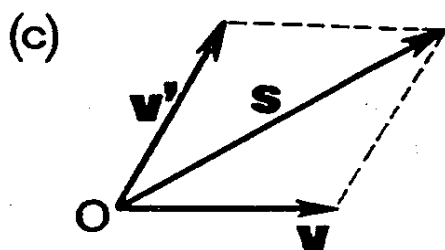


Gráfico 24. Suma de vectores.

También se puede realizar la suma dibujando uno de los vectores  $v'$  y desde su extremo otro equivalente a  $v$ . El vector que une el origen del primero con el extremo del segundo es el vector suma. El mismo resultado se hubiese obtenido trazando, a partir de  $0$ , el vector  $v$  y desde su extremo el  $v'$ .

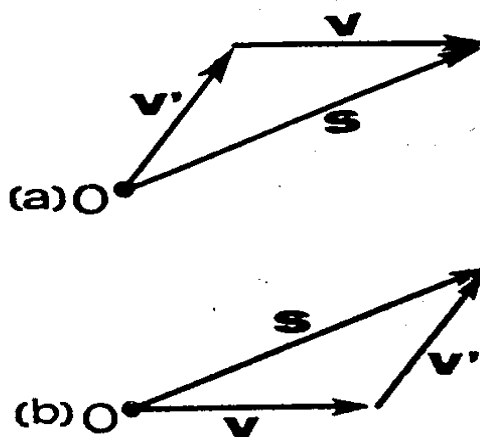


Gráfico 25. Suma de vectores concurrentes.

En todos los casos escribiremos:

$$s = v + v'$$

No se afirma en esta igualdad que el módulo de  $s$  sea la suma algebraica de los módulos de  $v$  y  $v'$  sino que el efecto físico que produce  $s$  es el mismo que el de  $v$  y  $v'$  actuando simultáneamente.

El módulo de  $s$  es siempre, si son dos los vectores que se suman:

$$s = \sqrt{v^2 + v'^2 + 2vv' \cdot \cos \varphi}$$

siendo  $\varphi$  el ángulo formado por los dos vectores. En el caso de que los vectores tengan la misma dirección y sentido (Gráfico 22) el ángulo  $\varphi$  es cero y su coseno la unidad; por tanto,

$$s = \sqrt{v^2 + v'^2 + 2vv'} = \sqrt{(v + v')^2} = v + v'$$

y el módulo de  $s$  es la suma de los módulos.

Es sencillo ver que la proyección de la suma sobre cualquier recta, es igual a la suma de las proyecciones de los sumandos; en el caso de vectores concurrentes por verificarse que “la proyección de la diagonal de un paralelogramo sobre cualquier recta es igual a la suma de las proyecciones de los lados concurrentes”.

**d).- Método del polígono.** En el caso de varios vectores concurrentes -  $a, b, c, d$  - (Gráfico 26) se traza el “polígono de vectores”; es decir: por el extremo de uno de ellos - $a$ - se traza un equipolente - $b'$ - (vector igual y paralelo al segundo - $b$ -); desde el extremo del trazado - $b'$ - se dibuja otro - $c'$ - equipolente del tercero - $c$ - y así sucesivamente hasta agotar todos los vectores; se une el origen común con el último extremo y obtendremos el vector suma - $s$ -.

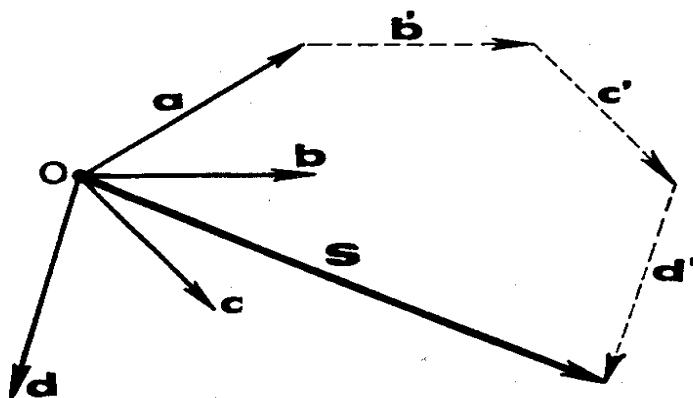


Gráfico 26. Suma de varios vectores concurrentes.

La proyección de  $s$  sobre cualquier recta es igual a la suma de las proyecciones de los sumandos, ya que  $s$  es un segmento rectilíneo con los mismos extremos que la línea quebrada que tiene por lados a  $b' c' d'$ .

**18.3.3.4.- Diferencia de vectores.** Una operación directamente relacionada con la suma es la *sustracción de vectores*. Para restar un vector  $b$  de un vector  $a$ , se invierte el sentido de  $b$  y se suma vectorialmente al vector  $a$ , es decir,  $a - b = a + (-b)$ .

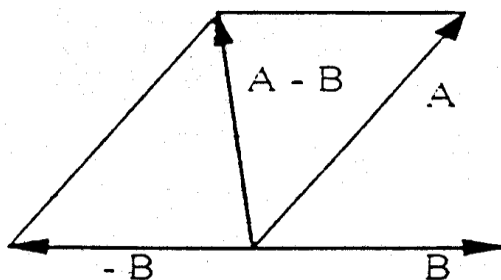


Gráfico 27. Sustracción de vectores.

Si los vectores son concurrentes  $-a$  y  $b$ - unimos sus extremos, obteniendo así el vector diferencia; su sentido será del menor al mayor (sustrayendo al minuendo).

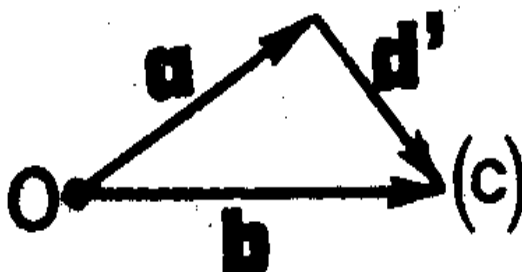


Gráfico 28. Diferencia de vectores.

$$b - a = d', \text{ puesto que } a + d' = b$$

18.3.3.5.- **Producto de un vector por un escalar.** El producto de un vector por un escalar es, como consecuencia del primer caso citado en la suma, otro vector de la misma dirección y sentido, cuyo módulo es el producto del módulo del vector por el número multiplicador.



Gráfico 29. Producto del vector  $v$  por 3.

18.3.3.6.- **Vector unitario.** El vector unitario de un vector dado es otro vector cuyo módulo es la unidad, y su dirección y sentido son los del vector del que es unitario. Todo vector puede expresarse como producto del módulo por su vector unitario.

#### 18.3.4.- DESPLAZAMIENTO, VELOCIDAD Y ACELERACIÓN.

18.3.4.1.- **Movimiento en una dimensión.** Para simplificar nuestro estudio del movimiento, empezaremos con objetos cuya posición puede describirse localizando un solo punto. Un objeto de este tipo se denomina *partícula*. Tendemos a pensar que una partícula es un objeto muy pequeño, **v.gr.:** un perdigón, pero realmente la palabra *partícula* no implica límite de tamaño. Si no nos interesan las dimensiones de un objeto ni su movimiento de rotación, todo objeto puede considerarse como una partícula.

Para describir el movimiento de una partícula, necesitamos los conceptos de *desplazamiento*, *velocidad* y *aceleración*. En el movimiento general de una partícula en tres dimensiones, estas magnitudes son vectores, dotados de sentido y módulo.

18.3.4.2.- **Desplazamiento.** Construyamos un sistema de coordenadas escogiendo sobre la recta ("x") algún punto de referencia  $O$  como origen. A cualquier otro punto de la recta le asignaremos un número  $s$  que indique su distancia al origen. El valor de  $s$  depende de su posición respecto a  $O$ ; si está hacia la derecha es positivo; a la izquierda, negativo. Dividamos el eje "y", en una escala que refiera el tiempo  $t$ . Supongamos que nuestra partícula se encuentra en una posición  $s_1$  en un instante  $t_1$  y en



$s_6$  en el instante  $t_3$ . La variación de la posición de la partícula,  $s_6 - s_1$ , se denomina *desplazamiento*. El desplazamiento tiene tanto sentido como magnitud (es un *vector desplazamiento*).

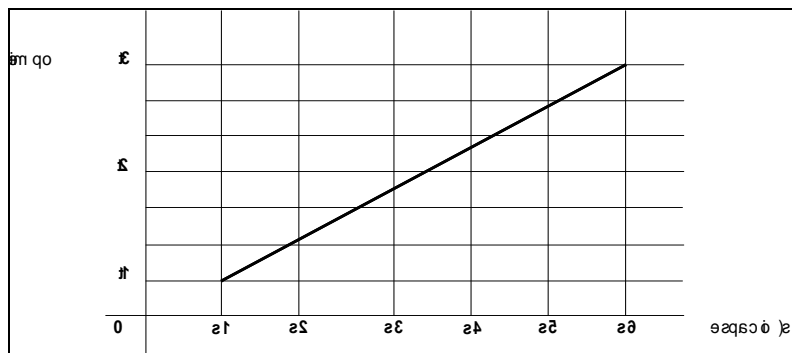


Gráfico 30. Desplazamiento de una partícula en el tiempo y el espacio.

18.3.4.3.- **Velocidad. Velocidad media.** La velocidad es el espacio  $s$  recorrido por unidad de tiempo  $t$ . Definimos la velocidad media de una partícula como el cociente entre la distancia total recorrida y el tiempo invertido en dicho desplazamiento.

$$\text{Velocidad media} = \frac{\text{Distancia total}}{\text{Tiempo total}}$$

**v. gr.:** Si en 5 horas un coche recorre 200 Km, su velocidad media es de 200 Km/5 h = 40km/h. Obsérvese que la velocidad media no nos da ninguna información sobre los detalles del viaje. El conductor puede haber ido durante las 5 horas a 40 km/h, o haber conducido más deprisa durante un tramo del recorrido y haber disminuido su marcha durante el resto del tiempo; o bien, haber parado durante una hora para comer y conducir durante las cuatro horas restantes sin un ritmo fijo.

Para indicar la variación o incremento de una magnitud, se suele utilizar la letra griega  $\Delta$  (delta mayúscula), así pues la variación o incremento de  $s$  se escribe  $\Delta s$  (léase “delta de  $s$ ”).

Se define la *velocidad vectorial media* de la partícula  $v_m$ , como el cociente entre el desplazamiento  $s_2 - s_1$  y el intervalo de tiempo  $t_2 - t_1$ .

$$\text{Velocidad media } (v_m) = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1}$$

Las unidades de velocidad son unidades de distancia divididas entre unidades de tiempo. Las más comunes son: **m/s** y **km/h** (ambas del sistema **mks**).

**Ejercicio 1.-** Un automóvil ha ido de la ciudad **A** a la **B** distantes entre sí 345 Km en 2’5 horas y, sin pérdida de tiempo retorna en 3 horas. **a)** ¿Cuál es la “velocidad media” en el trayecto de ida?; **b)** ¿Cuál es la “velocidad media” en el trayecto de vuelta?; y **c)** ¿Cuál es la “velocidad media” en el trayecto ida-vuelta?:

$$\text{a) } \overline{V_m} = \frac{345}{2'5} = 138 \text{ km/h; } \text{b) } \overline{V_m} = \frac{345}{3} = 115 \text{ km/h; } \text{c) } \overline{V_m} = \frac{690}{5'5} = 125'45 \text{ km/h.}$$

18.3.4.3.1.- **Velocidad instantánea.** Se denomina *velocidad instantánea* a la que posee un cuerpo en un instante determinado. Para determinar la *velocidad instantánea* necesitamos conocer la posición en cada instante. Conocida ésta, el proceso es similar al que hemos expuesto para el cálculo de la velocidad media.

Para determinar la velocidad en un instante, iremos calculando la velocidad media que corresponde a intervalos de tiempo cada vez menores, procurando que estos intervalos incluyan el instante que se considera.

En este proceso, la velocidad que se obtiene se aproxima a un valor que coincide con la velocidad instantánea. A este proceso en matemáticas se le denomina “*paso al límite*”.

La *velocidad instantánea* es el límite del cociente  $\Delta s / \Delta t$  cuando  $\Delta t$  tiende a cero. ( $\Delta t \rightarrow 0$ ).

18.3.4.4.- **Aceleración.** En física *acelerar* significa variar la velocidad, bien sea aumentándola, bien disminuyéndola. Cuanto más rápido sea el cambio, mayor será la aceleración; esto es, para una misma variación de velocidad, la aceleración será mayor si se realiza en un tiempo menor. Luego la *aceleración* es la variación de velocidad por unidad de tiempo.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{\Delta t}$$

siendo  $v_f$  la velocidad final;  $v_i$  la inicial y  $\Delta t$  el tiempo transcurrido.

Al igual que la velocidad, la *aceleración* es una *magnitud vectorial*. Por tanto, es necesario indicar además del valor numérico, la dirección y sentido en que se produce. Se define la *aceleración vectorial media*  $a_m$  de la partícula, como el cociente entre la variación de velocidad  $\Delta v$  y la del tiempo  $\Delta t$ . La *aceleración instantánea* es el límite de este cociente cuando  $\Delta t$  tiende a cero ( $\Delta t \rightarrow 0$ ).

18.3.4.4.1.- **Cálculo de la velocidad en función de la aceleración.** Conocida la *aceleración tangencial media* ( $a_m$ ), la velocidad inicial ( $v_i$ ) y el tiempo transcurrido ( $t$ ) desde que el móvil tenía tal velocidad, calcularemos la velocidad final ( $v_f$ ) por la ecuación:

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

El vector velocidad tiene dos componentes, que son: *aceleración tangencial* (responsable de los cambios en el valor numérico de la velocidad) y *aceleración normal* (responsable de los cambios de dirección).

18.3.4.5.- **El movimiento rectilíneo uniforme (MRU).** En lenguaje ordinario el movimiento de una partícula es *rectilíneo* si se mueve en línea recta, y es *uniforme* si no varía. En términos científicos diremos que un movimiento es rectilíneo si la trayectoria es una línea recta, y que es uniforme si la velocidad es constante.

Teniendo en cuenta la definición de velocidad, el movimiento de una partícula (objeto) es *rectilíneo y uniforme* cuando la velocidad con que se mueve es constante ( $v = cte$ ).

**Relación espacio y tiempo.** Teniendo en cuenta que para este movimiento,  $v = cte$ , y recordando la definición de velocidad, podemos escribir que:

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

y por tanto:  $s_2 - s_1 = v \cdot (t_2 - t_1)$ , ecuación que nos proporciona la distancia recorrida entre los instantes  $t_1$ –  $t_2$ . La posición en un instante  $t$ , conocida la velocidad y la posición inicial  $s_1$ , viene dada por la fórmula:

$$s = s_1 + v \cdot (t_2 - t_1) \text{ (MRU)}$$

Es decir, en el caso de que el origen de los espacios no coincida con el de los tiempos, o lo que es lo mismo, que al comenzar a contar el tiempo  $t$ , el móvil tenga un desplazamiento inicial  $s_1$  a partir del origen, la ecuación que nos determina la distancia desde el punto  $s_2$  al punto de origen (*desplazamiento vectorial* ( $s$ ) tomado en la recta de la dirección del movimiento). Y si en el instante inicial el móvil se encontraba en el origen, la expresión anterior se reduce a:

—

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

coincidiendo ahora posición y distancia recorrida. Al no haber variación de dirección, ni de velocidad, no existe aceleración normal ni tangencial. La velocidad uniforme de la luz en el vacío es de 300.000 km/seg. La velocidad de propagación del sonido en el aire es de 330 m/s a 01 centígrados de temperatura y unos 340 m/s a 201 C.

18.3.4.6.- **Movimiento rectilíneo y uniformemente acelerado (MRUA).** En este movimiento la velocidad no es constante, sino que varía regularmente. Es un movimiento cuya trayectoria es una recta y su aceleración constante, sus ecuaciones son:

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

De donde, si  $v_i = 0 \Rightarrow$  (partimos del reposo):

$$v_f = a \cdot t ; \quad a = v_f / t \quad (\text{formula 1})$$

De la ecuación del movimiento rectilíneo y uniformemente acelerado,

$$s = s_i + v_i \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$$

Si,  $s_0 = 0$ ; y  $v_0 = 0$ , (partimos del reposo) entonces:

$$s = \frac{1}{2} a \cdot t^2 \quad (\text{formula 2})$$

*Es decir, este será el caso del movimiento rectilíneo y uniformemente acelerado, partiendo del reposo.*

Si sustituimos la fórmula (1) en la (2), se obtiene:

$$s = \frac{1}{2} v \cdot t \quad (\text{formula 3})$$

Despejando  $t$  de la (1) y sustituyendo en la (2), obtenemos:

$$\underline{\hspace{10cm}}$$

$$s = \frac{1}{2} \cdot v^2 / a ; v = \sqrt{2 a s} \text{ (formula 4)}$$

Las formulas (1), (2), (3) y (4) nos resuelven todos los problemas de movimiento uniformemente acelerado **partiendo del reposo**.

También son aplicables al caso de movimientos decelerados **llegando al reposo**, considerando la aceleración como negativa y no considerando espacio inicial.

18.3.4.7.- **Aceleración debida a la gravedad.** Es la aceleración ( $g$ ) que experimenta un cuerpo que se mueve sólo por la atracción gravitacional, la cual tiene la dirección vertical y el sentido hacia abajo (centro de la Tierra). Sobre la superficie de la Tierra tiene un valor:

$$g = 9'81 \text{ m/s}^2$$

Las ecuaciones (1), (2), (3) y (4) anteriormente citadas, son aplicables a la caída de los graves en el espacio; representaremos por  $h$  la altura de caída (espacio) y por  $g$  la aceleración de la gravedad (aceleración):

$v = g \cdot t$	$H = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$
$h = \frac{1}{2} \cdot v t$	$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$

## **TEMA XIX**

### **TÍTULO: FUNDAMENTOS FÍSICOS PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES-II.**

#### **A.- ESQUEMA:**

##### **19.- DINÁMICA-I.**

###### **19.1.- LEYES DE NEWTON.**

###### **19.2.- FUERZA Y MASA.**

###### **19.2.1.- FUERZA.**

###### **19.2.2.- MASA.**

###### **19.2.3.- LA FUERZA DEBIDA A LA GRAVEDAD: EL PESO.**

###### **19.2.3.1.- *Peso aparente.***

###### **19.2.4.- UNIDAD DE FUERZA Y DE MASA.**

###### **19.3.- FUERZA DE ROZAMIENTO.**

###### **19.3.1- LA ADHERENCIA.**

###### **19.3.2.- EFECTO DE LA RAMPA, PENDIENTE Y PERALTE.**

###### **19.3.3.- COEFICIENTE DE ROZAMIENTO EN SECO Y EN MOJADO.**

###### **19.3.4.- DETERMINACIÓN PRACTICA DEL COEFICIENTE DE ROZAMIENTO.**

###### **19.3.5.- FRENADA Y HUELLA DE FRENADA.**

###### **19.3.6.- FRENADA REAL Y PROCESO DE FRENADO.**

###### **19.3.7.- MODELIZACIÓN DEL PROCESO DE FRENADO.**

###### **19.3.8.- FRICCIÓN PREVIA A LA APARICIÓN DE HUELLAS DE FRENADA.**



### 19.3.9.- FRENADA CON ABS.

## TEMA XIX

### TÍTULO: FUNDAMENTOS FÍSICOS PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES-II.

#### B.- DESARROLLO:

**19.- DINÁMICA.** Es la parte de la física que estudia el movimiento de los cuerpos considerando las *causas que lo originan o modifican*, es decir, las *fuerzas*.

La mecánica clásica o newtoniana es una teoría del movimiento basada en las ideas de *masa* y *fuerza* y las *leyes* que relacionan estos conceptos físicos con las magnitudes cinemáticas -*posición*, *velocidad* y *aceleración*- ya estudiadas.

Las relaciones fundamentales de la mecánica clásica están contenidas en las leyes de Newton del movimiento.

**19.1.- LEYES DE NEWTON.** La versión de Newton de dichas leyes es la siguiente:

Primera Ley.- “Todo cuerpo continúa en su estado de reposo o de movimiento uniforme sobre una línea recta a no ser que se le obligue a variar dicho estado mediante fuerzas que actúen sobre él”

Segunda Ley.- “La variación del movimiento es proporcional a la fuerza motora a que se le somete y se realiza en el sentido de la recta en la que la fuerza actúa”.

Tercera ley.- “A toda acción se opone siempre una reacción igual o sea, las acciones mutuas de dos cuerpos, uno sobre el otro, se dirigen siempre hacia las partes contrarias”.

\* Corolario. Un cuerpo sobre el que actúan dos fuerzas simultáneamente describirá la diagonal de un paralelogramo en el mismo tiempo que describiría los lados del mismo mediante la acción de dichas fuerzas por separado.

Una *versión más actualizada de las leyes de Newton del movimiento* es como sigue:

A. Primera Ley.- Ley de la Inercia. “Un cuerpo permanece en su estado inicial de reposo o movimiento con velocidad uniforme a no ser que se ejerza una fuerza de desequilibrio externa”.

Esta ley se conoce como la ley de la inercia porque, para variar el estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme, es preciso aplicar una fuerza neta; es decir, los cuerpos presentan una resistencia (inercia) a variar estos estados.

B. Segunda Ley.- Ley de la Dinámica. “La aceleración de un cuerpo es inversamente proporcional a su masa y directamente proporcional a la fuerza externa resultante que actúa sobre él”.

La expresión matemática de la segunda ley de newton es:  $F = \frac{dp}{dt}$  ;

es decir, la resultante de las fuerzas F que actúan sobre una partícula es igual a la variación de su cantidad de movimiento respecto del tiempo. Sin embargo, la mayoría de las veces seguiremos utilizando la expresión:

$$\Sigma F = F_{neta} = m \cdot a$$

\* Comentarios:

a).- Carácter vectorial. Al igual que cualquier vector, los vectores aceleración y fuerza resultante pueden expresarse en función de sus componentes cartesianas.

b).- El peso de un cuerpo, en un punto cualquiera de un planeta, es la fuerza con que el planeta atrae al cuerpo en dicho lugar. Se desarrollará más adelante.

C. Tercera Ley.- Ley de Interacción. “*Las fuerzas se presentan siempre en parejas. Si un cuerpo A ejerce una fuerza sobre un cuerpo B, el cuerpo B ejercerá una fuerza igual pero opuesta sobre el cuerpo A*”.

\* Corolario. Las fuerzas obedecen la ley de la suma del paralelogramo; es decir, las fuerzas son vectores.

Para comprender las leyes de Newton por completo y poderlas aplicar, debemos definir *fuerza* y *masa*.

**19.2.- FUERZA Y MASA.** Consideremos un objeto, v. gr.: un bloque de madera o metal, descansando sobre una superficie horizontal lisa, como la de una mesa. Observaremos que si el cuerpo está en reposo (respecto a la mesa) permanece en esta situación a no ser que le empujemos o tiremos de él. Si proyectamos el cuerpo de modo que se mueva sobre la mesa, se desliza durante un cierto espacio, pero va decreciendo poco a poco la velocidad y finalmente el objeto queda en reposo.

Atribuimos la disminución de velocidad a la *fuerza de rozamiento o de fricción* ejercida sobre el cuerpo por la mesa, debido a que ni la mesa ni el cuerpo son perfectamente lisos. Si pulimos la superficie de la mesa y el cuerpo, éste se desliza y llega más lejos de modo que su disminución de velocidad en un tiempo determinado es menor.

Así pues, si no existiese ninguna fuerza actuando sobre el cuerpo, la velocidad de éste debe permanecer constante. Ésta es la *primera ley de Newton, la ley de la inercia*.

Si la velocidad de un cuerpo no es constante, deducimos que debe actuar sobre el cuerpo una *fuerza* resultante o neta. Nuestro problema siguiente es desarrollar una medida cuantitativa de la misma. *Podemos hacer esto definiendo el módulo, dirección y sentido de la fuerza en función de la aceleración que produce sobre un objeto concreto que podemos denominar nuestro cuerpo patrón*.

El cuerpo patrón internacional es un cilindro de platino que se conserva en la Oficina Internacional de Pesos y Medidas de Sévres, Francia.

19.2.1.- *FUERZA*. La *fuerza* necesaria para producir una aceleración de  $1 \text{ m/s}^2$  sobre el cuerpo patrón es por definición un newton (*N*). Así pues, la *fuerza* se define en función de la aceleración que produce sobre el cuerpo patrón.

Un medio o agente cómodo para ejercer *fuerzas* sobre objetos determinados lo constituye un muelle. En los muelles ordinarios y para pequeños alargamientos la *fuerza* ejercida es proporcional al alargamiento. Esto se conoce como la *ley de Hooke*. Así pues, podemos llevar a cabo experimentos para observar cómo se combinan varias fuerzas.

Se observa experimentalmente que las fuerzas se suman como vectores; es decir, la aceleración resultante se encuentra sumando las aceleraciones vectoriales que cada fuerza produciría si estuviese actuando aislada. Esta observación se conoce como la *ley del paralelogramo para la adición de fuerzas*; las fuerzas son vectores (citado anteriormente como corolario). Si dos fuerzas iguales actúan en sentidos opuestos sobre el mismo cuerpo, la aceleración es nula.

Con nuestros muelles calibrados podemos medir la fuerza ejercida por la atracción gravitatoria de la Tierra sobre un objeto, a la que se denomina su *peso*. Cuando el *peso* de un cuerpo es la única fuerza que actúa sobre el mismo, su aceleración es de  $9.81 \text{ m/s}^2$  hacia la Tierra. El peso de nuestro cuerpo patrón es, por tanto,  $9.81 \text{ N}$ .

19.2.2.- *MASA*. La aceleración producida por un alargamiento determinado del muelle no es la misma en general que la que se tenía en el caso de nuestro cuerpo patrón. Si tenemos un segundo cuerpo

“con una masa más grande”, la aceleración que se produce por una *fuerza* de 1 N, se observa que es menor que  $1 \text{ m/s}^2$ . y si tiene una masa más pequeña, la aceleración producida es mayor.

v. gr.: si unimos dos cuerpos idénticos, la aceleración producida por una fuerza determinada es exactamente la mitad que la producida por la misma fuerza actuando sobre uno solo de los cuerpos. Esto sugiere que podemos cuantificar el *concepto de masa* considerando la aceleración que una fuerza determinada producirá sobre diferentes cuerpos.

Al cuerpo patrón se le asigna la *masa* de 1 Kg. A partir de este cuerpo patrón y por comparación directa pueden obtenerse otros cuerpos patrones secundarios, y la masa de cualquier otro cuerpo puede entonces obtenerse por comparación con la aceleración producida por una fuerza dada con cada uno de los cuerpos patrones secundarios.

Obsérvese que hemos definido los conceptos de *fuerza* y *masa* de forma que la *segunda ley de newton*,  $\Sigma F = F_{\text{neta}} = m \cdot a$  se deduzca directamente de las definiciones dadas.

19.2.3.- LA FUERZA DEBIDA A LA GRAVEDAD: EL PESO. La *fuerza* más común en nuestra experiencia diaria es la *fuerza de atracción de la Tierra* sobre un objeto. Esta fuerza se denomina *peso* del objeto. En un punto dado del espacio esta aceleración es la misma para todos los objetos independientemente de su *masa*. Como la aceleración de un objeto es igual a la *fuerza* resultante dividida por la *masa* del objeto, podemos concluir que la *fuerza debida a la acción de la gravedad* ( $F_g$ ) sobre el objeto es proporcional a la *masa* del mismo:

$$F_g \text{ (peso)} = m \cdot g$$

Siendo  $g$  la aceleración de la gravedad, es decir, la aceleración de caída libre experimentada por un objeto cuando la única fuerza que actúa sobre él es la fuerza gravitatoria terrestre.

La fuerza de atracción de la Tierra sobre un objeto varía con su posición. La fuerza debida a la acción de la gravedad varía inversamente con el cuadrado de la distancia del objeto al centro de la Tierra. Un cuerpo pesa ligeramente menos cuando se encuentra en lugares muy elevados respecto del nivel del mar.

La *masa* es una propiedad del propio cuerpo, mientras que el *peso* depende de la naturaleza y distancia de los demás objetos que ejercen fuerzas gravitatorias sobre el cuerpo.

19.2.3.1.- **Peso aparente.** La sensación que tenemos de nuestro propio *peso* normalmente procede de las demás fuerzas que lo equilibran. Cuando estamos situados sobre una balanza de muelles, nuestros pies aprecian la fuerza ejercida sobre nosotros por la balanza. Esta balanza está calibrada de modo que registra la fuerza que debe ejercer (por comprensión de su muelle) para equilibrar nuestro peso. La fuerza que equilibra nuestro peso se denomina *peso aparente*.

Si no existiese ninguna fuerza para equilibrar nuestro peso, como sucede en la caída libre, el peso aparente sería cero. Esta condición se denomina *ingravedez*.

\* Corolario. A veces afirmamos que un cuerpo de *masa* 1 Kg “*pesa*” 1 Kg, confundiendo las magnitudes *masa* y *peso* (fuerza). Las balanzas comparan *masas*, mientras que los *pesos* se miden con los dinamómetros (fuerza).

19.2.4.- UNIDAD DE FUERZA Y DE MASA. El sistema *mks* de unidades mecánicas es un subconjunto del sistema internacional de unidades (SI). La definición de la *unidad de masa*, el *kilogramo*, como la masa de un cuerpo patrón particular, completa la definición de las tres unidades fundamentales de la mecánica en el *sistema mks*.

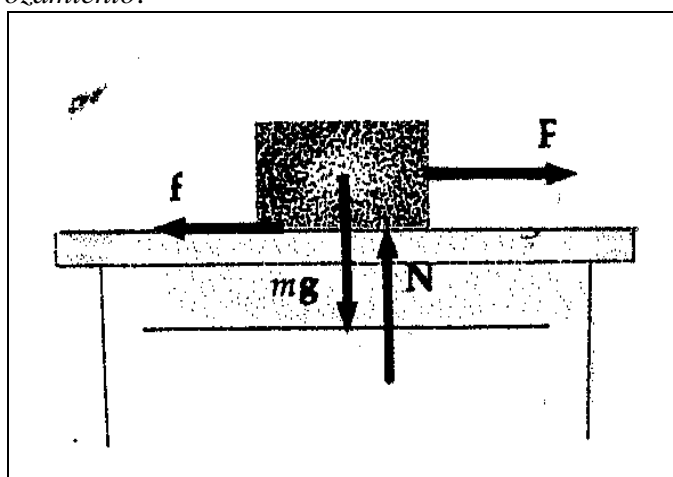
En este sistema, la *unidad de fuerza*, el *newton* (aquella fuerza que produce una aceleración de  $1 \text{ m/s}^2$  sobre una *masa* de 1 Kg) es una unidad derivada, es decir, puede expresarse en función de las tres unidades fundamentales.

**19.3.- FUERZA DE ROZAMIENTO.** Cuando dos cuerpos se encuentran en contacto se ejercen fuerzas entre sí debido a la interacción de las moléculas de un cuerpo con las del otro.

Existen dos tipos de rozamiento: el rozamiento *por deslizamiento* y el rozamiento *por rodadura*. Este último es el que experimentan los cuerpos cuando ruedan uno sobre el otro; su valor es mucho menor al de deslizamiento. Aquí, sólo nos ocuparemos del rozamiento por deslizamiento entre sólidos.

En ciertas circunstancias, los cuerpos en contacto se ejercerán mutuamente fuerzas tangenciales a la superficie de contacto.

La componente tangencial de la fuerza de contacto ejercida por un cuerpo sobre el otro recibe el nombre de *fuerza de rozamiento*.



*Figura 47. Fuerza de rozamiento.*

v. gr.: si ejercemos una fuerza horizontal en el bloque que descansa sobre la mesa horizontal de la *figura 47*, el bloque no se desplaza si la fuerza horizontal no es lo suficientemente grande.

Evidentemente, siempre que la fuerza horizontal aplicada sea lo suficientemente pequeña, la mesa ejercerá una fuerza igual y opuesta que se opondrá a la aplicada. Esta fuerza paralela a la superficie de la mesa recibe el nombre de *fuerza de rozamiento*.

A su vez, el bloque ejerce una fuerza de rozamiento igual y opuesta sobre la mesa, que tiende a arrastrar a ésta en la dirección de la fuerza horizontal ejercida. Esta fuerza de rozamiento es debida a la unión entre las moléculas del bloque y la mesa en los lugares en donde las superficies están en estrecho contacto.

A primera vista parece lógico que la fuerza máxima de fricción debe ser proporcional al área de contacto entre las dos superficies. Sin embargo, experimentalmente resulta que en buena aproximación es independiente de ésta área y simplemente proporcional a la fuerza normal ejercida por una superficie sobre la otra.

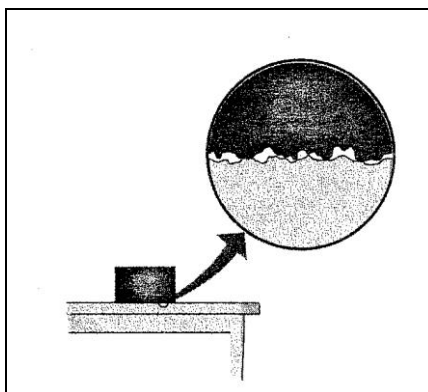


Figura 48. Área microscópica de contacto.

La figura anterior es una imagen ampliada del contacto entre el bloque y la mesa; en ella se ve que el área microscópica real de contacto molecular (se aprecia la “identación” o efecto “diente de sierra” entre las rugosidades y micro rugosidades presentes en las superficies) es sólo una pequeña fracción del área macroscópica.

Leonardo da Vinci llegó a la conclusión de que la fuerza de fricción es independiente del área macroscópica de contacto. v. gr.: consideremos un bloque de 1 Kg con área lateral de 60 cm<sup>2</sup> y área de base de 20 cm<sup>2</sup>. Si se apoya lateralmente sobre la mesa, una pequeña fracción del total de 60 cm<sup>2</sup> está realmente en contacto microscópico. Cuando se sitúa sobre su base, la fracción del área total en contacto microscópico se incrementa en un factor de 3 ya que la fuerza por unidad de área es 3 veces mayor. Sin embargo, como el área de la base es un tercio del área lateral, el área microscópica real de contacto queda inalterada.

La fuerza máxima de fricción estática  $f_{e, \text{máx}}$  es, por tanto, proporcional a la fuerza normal entre las superficies,

$$f_{e, \text{máx}} = \mu_e \cdot N \quad ; \quad \mu_e = f_{e, \text{máx}} / N$$

en donde  $\mu_e$ , llamado *coeficiente de fricción estática* depende de la naturaleza de las superficies del bloque y de la mesa.

Si actuamos sobre el bloque con un esfuerzo suficiente, la fuerza de fricción estática no puede evitar su movimiento. Entonces, cuando el bloque se desliza sobre la superficie de la mesa, los enlaces moleculares se forman y se destruyen continuamente y pequeños fragmentos de las superficies se fragmentan. El resultado es una fuerza de deslizamiento o fricción cinética que se opone al movimiento. La fricción cinética, como la estática, es un fenómeno complicado, que aún hoy no está completamente entendido.

El *coeficiente de fricción cinética*  $\mu_c$  se define como el cociente entre las magnitudes de la fuerza de fricción  $f_c$  y la fuerza normal  $N$ . Por tanto:

$$f_c = \mu_c \cdot N \quad ; \quad \mu_c = f_{c, \text{máx}} / N$$

*Experimentalmente resulta que:*

- 1.-  $\mu_c$  es menor que  $\mu_e$ .
- 2.- En una frenada sin bloqueo de ruedas, el neumático rueda sobre la carretera sin deslizar, por lo que estamos ante el caso de *rozamiento estático*. Cuando se bloquean, éstas se deslizan sobre la carretera y estamos ante el caso de *rozamiento dinámico*.
- 3.- La capacidad de frenado o deceleración máxima disponible es menor cuando se bloquean las ruedas, necesitándose más metros que en ausencia de bloqueo para detener el vehículo.
- 4.-  $\mu_c$  depende de la velocidad relativa de las superficies.



5.-  $\mu_c$  depende de la naturaleza de las superficies, pero es independiente del área macroscópica de contacto.

6.- El valor de  $\mu_c$  entre superficies de acero es del orden de 0'4, mientras que entre superficies de madera pulimentada gira en torno al 0'3; entre superficies engrasadas, el menor valor del coeficiente de rozamiento es de 0'03.

19.3.1- **LA ADHERENCIA.** La adherencia de un cuerpo que se pretende hacer deslizar sobre otro se debe a dos causas principales:

- a).- La *atracción electroquímica* entre las moléculas que se encuentran muy próximas entre sí.
- b).- La *“identación”* o efecto *“diente de sierra”* entre las rugosidades y micro rugosidades presentes en las superficies.

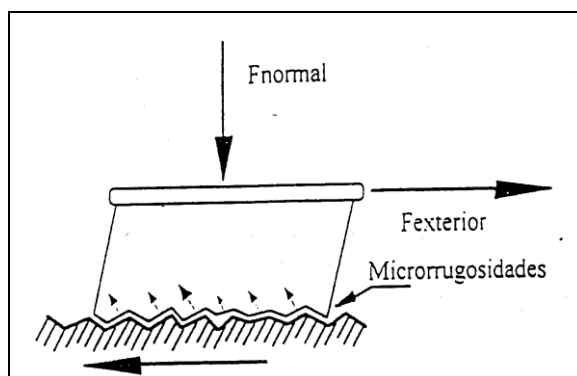


Gráfico 31. Ampliación de la zona de contacto neumático suelo, en la que se puede observar el efecto “identación”.

19.3.2.- **EFFECTO DE LA RAMPA, PENDIENTE Y PERALTE.** Qué sucede cuando la superficie de la carretera no es horizontal, sino que tiene la inclinación de una *rampa*, *pendiente*, o el de un *peralte*. Entonces el peso del vehículo ya no coincide con la fuerza normal, como se observa en la figura.

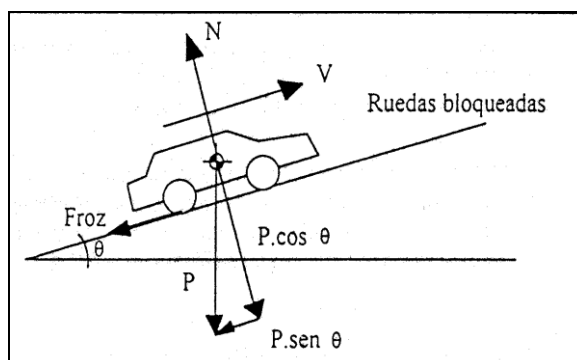


Gráfico 32. Esquema de fuerzas sobre un vehículo que desliza por una rampa.

En este caso  $N = P \cdot \cos \theta$ . Ahora debemos hacer una corrección al coeficiente de rozamiento debida a la inclinación, con el fin de poder utilizar una expresión general, independiente de la inclinación de la calzada.

$$\mu = F_{\text{rozamiento}} / N = F_{\text{rozamiento}} / \cos \theta, \text{ de donde: } F_{\text{rozamiento}} = \mu P \cos \theta$$

Además debemos tener en cuenta la fuerza que en una subida se opone al movimiento del coche:  $P \sin \theta$ , debida a la gravedad. Por tanto:

$$F_{\text{rozamiento}} + P \sin \theta = \mu P \cos \theta + P \sin \theta = P (\mu \cos \theta + \sin \theta), \text{ de donde:}$$

$$\mu_{\text{corregido}} = \mu \cos \theta + \sin \theta \text{ (rampa y peralte positivo).}$$

$$\mu_{\text{corregido}} = \mu \cos \theta - \sin \theta \text{ (pendiente y peralte negativo)}$$

De forma empírica se observa que para inclinaciones inferiores al 20% (0'2), se obtiene una buena aproximación sumando o restando, en cada caso, la inclinación (en tanto por uno) al coeficiente directamente. Con lo cual, las anteriores expresiones quedarían simplificadas como sigue:

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

$$\mu_{\text{corregido}} = \mu - \text{inclinación (pendiente y peralte negativo).}$$

La utilidad de este *coeficiente corregido* radica en el hecho de que, a partir de este momento, podremos considerar la fuerza normal ( $N$ ) constante para todos los casos (horizontal o con inclinación) y con valor numérico igual al peso del móvil y únicamente será necesario corregir convenientemente el coeficiente de rozamiento.

Ejercicio 2.- Un coche viaja por una carretera horizontal describiendo una circunferencia de 60 m de radio. ¿ Si el coeficiente de fricción estática es  $\mu_e = 0'60$ , cuál es la velocidad máxima a la que puede ir el coche sin salirse de la carretera?

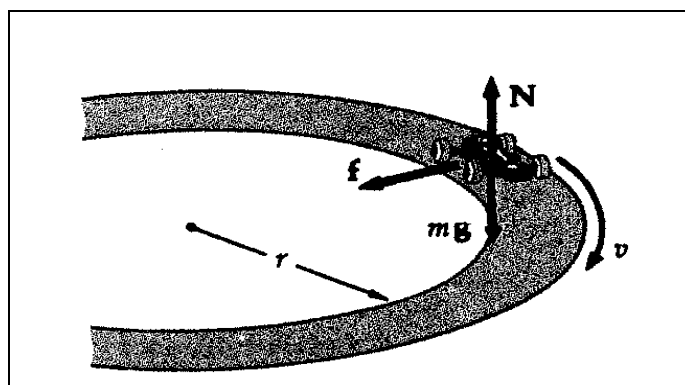


Figura 49. Gráfico del problema.

En la figura 49 se muestra el diagrama de fuerzas correspondiente al coche. La fuerza normal  $N$  equilibra la fuerza  $m \cdot g$  que ejerce la gravedad hacia abajo. La fuerza de rozamiento es la única fuerza horizontal que existe en este problema. Su valor máximo es  $f_{r, \text{máx}} = \mu_e N = \mu_e m \cdot g$ . En este caso la fuerza de rozamiento es la fuerza centrípeta. La velocidad máxima  $v_{\text{máx}}$  a la que puede ir el coche viene determinada por el valor máximo de la fuerza de rozamiento  $\Sigma F = F_{\text{neta}} = m \cdot a$ , nos da  $f_{r, \text{máx}} = \mu_e N = \mu_e m \cdot g = \mu_e m (v_{\text{máx}}^2)/r$ , o

$$v_{\max} = \sqrt{\mu_e \cdot g \cdot r} = \sqrt{0'6 \cdot 9'81 \cdot 60} = \underline{18'79 \text{ m/s}} = \underline{67'65 \text{ km/h.}}$$

Es decir, cuando el coche se desplace con una velocidad superior a  $18'79 \text{ m/s}$ , la fuerza de rozamiento estático no será lo suficientemente grande como para suministrar la aceleración necesaria para que el coche siga una trayectoria circular y, por tanto, se saldrá de la carretera.

Si la carretera en vez de ser horizontal, está inclinada (peraltada), el coeficiente de fricción deberá ser corregido como anteriormente se expuso, v. gr.: Si en el mismo caso anterior, la calzada tuviera un peralte positivo del 6%, ¿cuál sería ahora el resultado?:

$$v_{\max} = \sqrt{(\mu_e + e) \cdot g \cdot r} = \sqrt{(0'6 + 0'06) \cdot 9'81 \cdot 60} = \underline{19'71 \text{ m/s}} = \underline{70'95 \text{ km/h.}}$$

O lo que es lo mismo, el coche podría circular ahora a  $70'95 \text{ km/h.}$ , lo que supone una diferencia, con respecto al caso anterior, de  $3'3 \text{ km/h.}$

Obsérvese que el radio  $r$  está referido al radio de la circunferencia que describe el vehículo en la trayectoria y no al radio de la curva de la carretera.

**19.3.3.- COEFICIENTE DE ROZAMIENTO EN SECO Y EN MOJADO.** El coeficiente de rozamiento se ve fuertemente influenciado por la presencia de agua en la carretera. Puede distinguirse entre *pavimento húmedo*, cuando la capa de agua tiene únicamente unas micras de espesor, y *pavimento mojado*, cuando ese espesor de la capa posee décimas de milímetro.

En *pavimento mojado*, el agua que se interpone entre el neumático y el suelo anula en gran medida las fuerzas de cohesión electroquímicas entre las superficies quedando únicamente las fuerzas de rozamiento debidas a los “identadores”.

Conforme aumenta el espesor de la película de agua (o conforme la profundidad del dibujo disminuye), el neumático no es capaz de desalojar el agua y esta comienza a acumularse, delante del mismo.

En el momento en que se produce este peligroso fenómeno (“aquaplaning” o hidroplaneado), el neumático se encuentra “rodando” por encima del agua, de la misma manera que un esquíador acuático se desplaza sobre la superficie del mar, con un coeficiente de adherencia  $\mu$  mínimo agua-neumático y con una fuerza normal  $N$  sobre el suelo prácticamente anulada por la presión hidrodinámica.

**19.3.4.- DETERMINACIÓN PRACTICA DEL COEFICIENTE DE ROZAMIENTO.** Existen cuatro métodos fundamentales para determinar el coeficiente de rozamiento que debe emplearse en una reconstrucción de accidentes determinada. En *orden descendente del grado de exactitud* que puede conseguirse, los métodos son:

a).- *Empleo de nuevas tecnologías*, como puede ser el “Vericon 2000”, el que a través de una sencilla instalación en un vehículo al que se le hace circular en condiciones similares por la vía escenario de los hechos, nos proporciona un fiable *coeficiente de rozamiento*.

b).- *Realización de pruebas de frenada* empleando un vehículo de similares características equipado con neumáticos parecidos a los utilizados por los vehículos accidentados.

Las pruebas deben realizarse, a ser posible, en la misma dirección indicada por las huellas de frenada (de este modo el coeficiente de rozamiento ya estará corregido teniendo en cuenta la pendiente). La velocidad inicial debería ser similar a la estimada para los vehículos accidentados. En este caso, la deceleración deberá ser medida mediante acelerómetros, quintas ruedas, grabadoras de datos para accidentes o cualquier otro método disponible en el mercado.

c).- *Medición con un dinamómetro convencional* de la fuerza necesaria para arrastrar un neumático lastrado (o también, una sección de neumático rellena de hormigón). Si el arrastre se

efectúa en la misma dirección indicada por las huellas dejadas tras el accidente, la medición ya tendrá en cuenta la inclinación o pendiente de la vía.

Una vez determinado el peso de la rueda lastrada, por ejemplo con el mismo dinamómetro utilizado en el arrastre, resulta inmediato determinar el coeficiente de rozamiento. En este caso normalmente será imposible efectuar la medida a la velocidad media de los vehículos implicados en el accidente.

d).- *Examen minucioso de la superficie de la vía:* tipo de firme (hormigón, asfalto, empedrado, etc.), medida de las inclinaciones longitudinales y transversales en la dirección de las huellas, temperatura de la zona y otras variables climatológicas.

Consulta posterior en tablas de coeficientes de rozamiento (ver Tema X).

**19.3.5.- FRENADA Y HUELLA DE FRENADA.** Las huellas de frenada o deslizamiento dejadas por el automóvil en la carretera constituyen el indicio más objetivo y fiable para la determinación de la velocidad de un vehículo. A pesar de que la información que suministran al perito estas marcas de goma es limitada, su estudio permite determinar o descartar hipótesis en accidentes en los que los demás indicios no apartan datos esclarecedores.

Las huellas de frenado o deslizamiento son dejadas en el pavimento a consecuencia del bloqueo de las ruedas, por el intenso calor que debido al rozamiento neumático-firme llega a descomponer la goma del neumático.

Físicamente, el proceso consiste en la transformación de la energía cinética inicial del vehículo en un “trabajo de rozamiento” entre el neumático y la calzada.

Las huellas son la evidencia sobre el terreno de la realización de dicho trabajo de rozamiento a lo largo de una determinada distancia “*d*”. La fuerza de rozamiento, según se ha visto anteriormente, tiene la siguiente expresión:

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

Donde:  $P$  = peso del vehículo ( $P = \text{masa (m)} \cdot (\text{g}) \text{ aceleración de la gravedad}$ ).  
 $\mu_{\text{corregido}}$  = coeficiente de rozamiento corregido con la inclinación del firme.

El trabajo realizado por esta fuerza de rozamiento a lo largo de la trayectoria marcada por las huellas de frenada es:

$$W_{\text{rozamiento}} = P \cdot \mu \cdot d = m \cdot g \cdot \mu \cdot d$$

Igualando la energía cinética inicial y el trabajo de rozamiento debido al deslizamiento hasta la *completa parada del vehículo*, se obtiene:

$$E_{\text{cinética inicial}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = m \cdot g \cdot \mu \cdot d = W_{\text{rozamiento}}$$

De la fórmula anterior puede despejarse la velocidad inicial:

$$V = \sqrt{2 \cdot \mu \cdot g \cdot d}$$

(Sólo aplicable cuando la velocidad final del vehículo es *cero*).

**19.3.6.- FRENADA REAL Y PROCESO DE FRENADO.** Si queremos representar la evolución en el tiempo de la deceleración real en el caso de una frenada de pánico en la que las ruedas se bloquean hasta la detención del vehículo, nos encontramos con la siguiente gráfica:

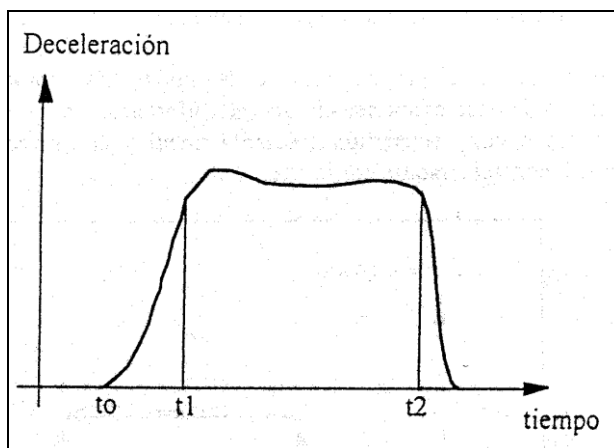


Gráfico 33. Gráfica de la deceleración real con respecto al tiempo obtenida en un caso de frenada de pánico. Fuente, “Manual Bosch de Instalaciones de frenos para automóviles”.

Una frenada real transcurre de la siguiente manera: una vez que el conductor se ha percatado del peligro existente (PPR), ha decidido la acción a tomar (PD), en este caso una frenada a fondo y, acciona el sistema de frenado (instante representado con  $t_0$  en la gráfica), el mecanismo de los frenos tarda un tiempo hasta que es capaz de ejercer la fuerza que conduce al bloqueo (instante  $t_1$ ). A partir de este momento se obtiene una deceleración que se mantiene aproximadamente constante hasta el instante en que se deja de actuar sobre los frenos: instante  $t_2$ .

Por tanto, previamente a que el sistema de frenado actúe plenamente (bloqueo de ruedas), y desde que ya se han accionado los frenos, transcurre un intervalo de tiempo en que los frenos no ejercen toda su fuerza, es el llamado *tiempo de respuesta del sistema de frenado* (no confundir con el *tiempo de reacción del conductor*, durante el cual no se está frenado en absoluto).

Este tiempo de respuesta de los frenos puede oscilar de 0’2 a 0’6 segundos, dependiendo del buen estado del circuito de frenos. Varios fabricantes de automóviles han obtenido empíricamente valores de 0’25 segundos para la respuesta de sus frenos montados en vehículos nuevos.

Por lo cual, el espacio recorrido en este tiempo durante el cual actúan los frenos con intensidad creciente antes de bloquear las ruedas, ha de ser añadido (de la forma que más adelante veremos) a la longitud de la huella de frenado medida por las marcas dejadas en el pavimento, con el fin de obtener con mayor precisión la velocidad a la que circulaba un vehículo antes de comenzar a frenar.

**19.3.7.- MODELIZACIÓN DEL PROCESO DE FRENADO.** El proceso real puede modelizarse como formado por dos etapas con valores de deceleraciones claramente diferenciadas:

- 1ª.- El tiempo de respuesta del sistema mecánico con aceleración (deceleración) creciente lineal.
- 2ª.- El campo parcial de deceleración total media con aceleración constante.

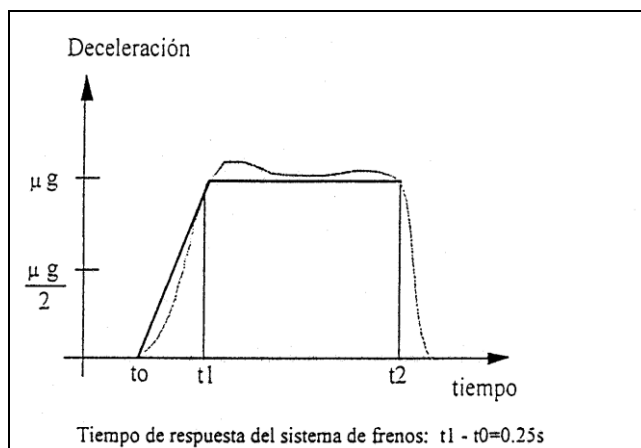


Gráfico 34. Gráfica modelizada de la deceleración obtenida en el caso de frenada.

Los cálculos que hay que realizar según esta modelización también constan de dos fases:

a).- Calcular la velocidad considerando tan solo la longitud medida de las huellas de frenada “d”.

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{\text{inicial}}^2 = \mu \cdot m \cdot g \cdot d + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{\text{final}}^2 ; \text{ de donde,}$$

$$v_{\text{antes de bloqueo}} = \sqrt{2 \cdot \mu \cdot g \cdot d + v_{\text{residual o post-bloqueo}}^2}$$

b).- A la velocidad antes calculada, añadir la velocidad perdida por la deceleración debida a la frenada previa al bloqueo de las ruedas:

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

Para la aceleración “a” debido a la frenada previa al bloqueo de ruedas se adopta un valor medio de  $\frac{1}{2} \cdot g \cdot \mu$  correspondiente a la recta con la que se ha modelizado esta fase gráfica. Como se ha indicado con anterioridad, el valor “t” de tiempo de respuesta del sistema de frenado en condiciones óptimas puede considerarse igual a 0’25 segundos.

**19.3.8.- FRICCIÓN PREVIA A LA APARICIÓN DE HUELLAS DE FRENADA.** Antes del comienzo visible de la huella de frenado o deslizamiento, el sistema de frenado ya había bloqueado las ruedas y éstas deslizaban por la calzada generando una gran cantidad de calor que incrementa la temperatura de la goma del neumático hasta que esta comienza a degradarse dejando una marca oscura sobre el pavimento.

Durante este deslizamiento previo se deja una tenue marca, casi imperceptible, y que desaparece rápidamente como consecuencia del viento o del paso de otros vehículos. Esta distancia se estima entre 1 a 4 metros, dependiendo de la velocidad a la que se circule, y que podría ser añadida a la huella visible para calcular la velocidad.

No obstante este apartado es difícil de justificar con precisión en un Informe, por lo que puede ser despreciado. Teniendo en cuenta así que nuestros cálculos serán más conservadores, es decir, calculamos una velocidad algo inferior a la que realmente circulaba el vehículo analizado.

**19.3.9.- FRENADA CON ABS.** “Según estimaciones hechas por expertos, un 10% de los accidentes ocurren al quedar bloqueadas las ruedas, impidiendo así el poder dominar debidamente el vehículo, que se lanza a patinar” (Fuente: “Manual Bosch Instalaciones de frenos para automóviles”). Esta



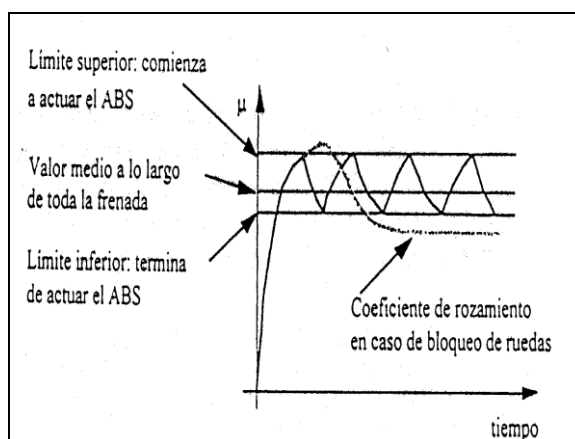
afirmación ilustra la importancia de disponer de un sistema que evite el bloqueo total de las ruedas. El ABS (sistema antibloqueo de las ruedas) cumple esta función.

Dado que la adherencia transversal disminuye rápidamente conforme aumenta el coeficiente de deslizamiento, además de evitar el bloqueo total de las ruedas con el consiguiente alargamiento de la distancia de frenado, conviene utilizar en frenadas un coeficiente de deslizamiento moderado que asegure un suficiente valor del coeficiente de adherencia  $\tau$ .

Controlar el par de frenada en una zona tan restringida y, lo que es aún peor, tan cerca de la zona de inestabilidad, requiere grandes dosis de pericia por parte del conductor del vehículo o la inestimable ayuda de algún sistema de ayuda contra el bloqueo de las ruedas.

Durante una frenada con ABS, el deslizamiento aumenta hasta alcanzar la zona de máxima adherencia para a continuación, antes de entrar en zona inestable, reducir ligeramente la presión en el circuito hidráulico con lo que se reduce el par de frenado aplicado sobre las ruedas y, como consecuencia, se disminuye el deslizamiento rueda-carretera.

Antes de que el coeficiente  $\mu$  -y por tanto la fuerza de frenado y la deceleración del vehículo- se hayan reducido de modo perceptible, el sistema deja aumentar la presión en el circuito para recuperar la máxima adherencia. El proceso ocurre en sólo centésimas de segundo y se repite varias veces por segundo.



*Gráfico 35. Gráfica de la evolución de  $\mu$  a lo largo del tiempo en un vehículo equipado con ABS y en caso de bloqueo de ruedas.*

A la vista de la figura puede observarse que, a pesar de que en determinados momentos el ABS no aprovecha toda la adherencia disponible en la calzada, el coeficiente de rozamiento medio a lo largo de toda la frenada supera al que se obtendría en caso de bloqueo total de ruedas.

Dos excepciones a todo lo dicho anteriormente son la nieve suelta o la gravilla. En estos dos casos, cuando se produce bloqueo de ruedas la nieve o la grava se acumulan delante de los neumáticos creando una barrera física y consiguiendo distancias de frenado inferiores a las que se obtienen sin bloqueo. A pesar de que es estas circunstancias particulares de adherencia el ABS no consigue reducir la distancia de frenado que se obtendría sin la intervención de este sistema, el antibloqueo de frenos sigue cumpliendo al cien por cien su otra función: asegurar la capacidad de guiado y direccionalidad del vehículo.

Tablas de coeficientes de rodamiento en Tema X.

## **TEMA XX**



**TÍTULO: FUNDAMENTOS FÍSICOS PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES-III.**

**A.- ESQUEMA:**

**DINÁMICA II**

**20.- DINÁMICA DEL MOVIMIENTO CIRCULAR.**

**20.1.- FUERZA CENTRÍPETA.**

**20.2.- FUERZA CENTRÍFUGA.**

**20.3.- VELOCIDAD LÍMITE EN CURVA. Método simplificado.**

20.3.1.- SALIDA POR LA TANGENTE.

20.3.2.- VUELCO.

**20.4.- PRINCIPIO CONSERVACIÓN CANTIDAD MOVIMIENTO.**

20.4.1.- SUMAS VECTORIALES DE LAS CANTIDADES DE MOVIMIENTO.

20.4.2.- LÍMITES DE SU APLICACIÓN EN LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES.

**20.5.- LA GRAVITACIÓN UNIVERSAL.**

20.5.1.- LEY DE GRAVITACIÓN UNIVERSAL DE NEWTON.

20.5.2.- BARICENTRO O CENTRO DE GRAVEDAD (CDG).

20.5.3.- PESO DE UN CUERPO.

**TEMA XX**

## **TÍTULO: FUNDAMENTOS FÍSICOS PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES-III.**

### **B.- DESARROLLO:**

#### **DINÁMICA II**

#### **20.- DINÁMICA DEL MOVIMIENTO CIRCULAR.**

**20.1.- FUERZA CENTRÍPETA.** “Fuerza centrípeta es la causa productora de la aceleración normal o centrípeta, en un movimiento curvilíneo”.

Es, por lo tanto, una magnitud vectorial de la *dirección* del radio, de *sentido* hacia el centro de la curva y cuyo *módulo* es el valor del producto de la masa del punto material, por su aceleración centrípeta.

Del mismo módulo y dirección que la fuerza centrípeta pero de sentido contrario se origina, por el hecho de existir la aceleración centrípeta, una fuerza de inercia –*fuerza centrífuga*- cuya existencia se supedita a la de la fuerza centrípeta.

Al dar vueltas a un cuerpo sujeto al extremo de una cuerda, se mantiene en su trayectoria circular por la igualdad de las dos fuerzas; al soltar la cuerda, se elimina la fuerza centrípeta desapareciendo, también, la centrífuga, saliendo el cuerpo por la tangente, por inercia, o tendencia a seguir con el movimiento que seguía.

**20.2.- FUERZA CENTRÍFUGA.** Se llama *fuerza centrífuga* a aquella que se presenta en el movimiento curvilíneo y que tiende a separar a un cuerpo del centro del arco de la curva, siguiendo por la tangente. Cuando el vehículo en que viajamos toma una pronunciada curva a la izquierda nosotros notamos que una fuerza nos empuja hacia la derecha. Es la *fuerza centrífuga*.

Es la fuerza inicial que actúa sobre la masa  $m$  que se mueve a lo largo de una trayectoria circular de radio  $r$ , debida a la aceleración normal  $a_c$  y de sentido contrario. Ya que  $F_c = m A a_c$ , tenemos:

$$\text{Fuerza centrífuga } (F_c) = \frac{m A v^2}{r} = m \cdot \omega^2 \cdot r$$

Debe dirigirse hacia fuera, desde el centro de la trayectoria circular:

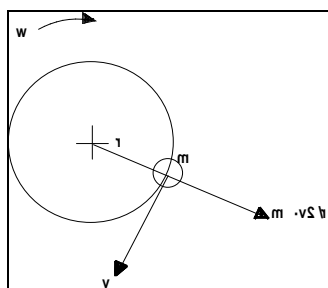


Gráfico 36. Dirección y sentido de la aceleración centrífuga.

**20.3.- VELOCIDAD LÍMITE EN CURVA. Método simplificado.** Cuando un vehículo traza una trayectoria a gran velocidad se pueden dar, en general, dos situaciones:

**20.3.1.- SALIDA POR LA TANGENTE.** Que el vehículo pierda adherencia y se produzca el *derrapaje* (fricción lateral) al sobrepasar el límite de los esfuerzos tangenciales que pueden soportar sus neumáticos.

Para compensar la fuerza centrífuga en las curvas de las carreteras se construyen los peraltes, que se colocan para que su inclinación sea la suficiente para anular la fuerza centrífuga a una determinada velocidad y sin que, al mismo tiempo su inclinación suponga peligro de resbalamiento hacia el interior de la curva para aquellos vehículos que circulen a velocidades inferiores.

El método simplificado parte del siguiente esquema de fuerzas sobre un vehículo que describe una curva peraltada:

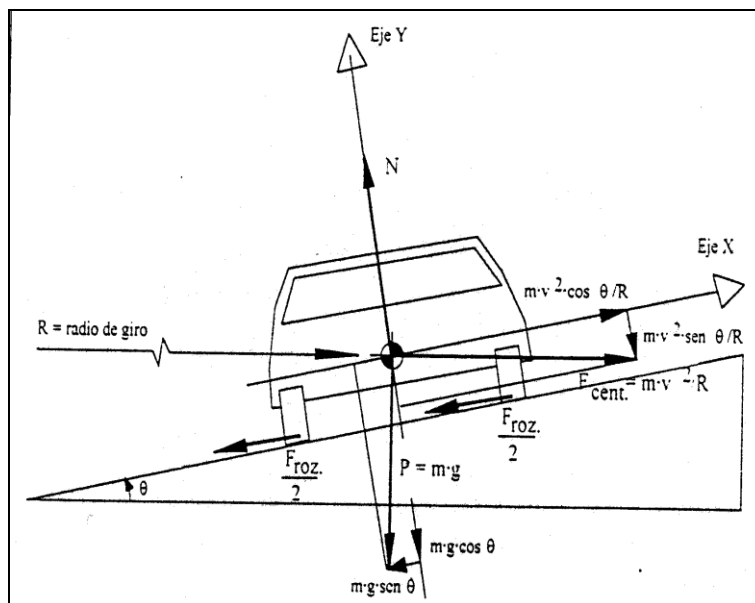


Gráfico 37. Esquema simplificado de las fuerzas que actúan en un vehículo al tomar una curva peraltada.

Siendo  $\theta$  el ángulo de peralte, y  $e$  la pendiente (en tanto por uno) =  $\tan \theta$ .

La relación existente entre la pendiente expresada en porcentaje y la que se emplea para obtener el valor del ángulo  $\theta$  es la siguiente:

%	$e$
1	0,01
5	0,05
10	0,1
20	0,20

Cuando el vehículo comienza a *derrapar* (fricción lateral), el equilibrio de fuerzas queda como sigue:

$$F_{\text{centrífuga}} \cdot \cos \theta = P \cdot \sin \theta + F_{\text{rozamiento}}$$

$$m \cdot v^2 / R \cdot \cos \theta = m \cdot g \cdot \sin \theta + \mu \cdot N$$

$$m \cdot v^2 / R \cdot \cos \theta = m \cdot g \cdot \sin \theta + \mu (m \cdot g \cdot \cos \theta + m \cdot v^2 / R \cdot \sin \theta)$$

$$v^2 / R \cdot (\cos \theta - \mu \cdot \sin \theta) = g \cdot (\sin \theta + \mu \cdot \cos \theta)$$

$$v_{\text{límite}} = \sqrt{R \cdot g \cdot \frac{(\sin \theta + \mu \cdot \cos \theta)}{(\cos \theta - \mu \cdot \sin \theta)}}$$

Como el ángulo  $\theta$  de peralte es muy pequeño se puede simplificar:

$$\sin \theta \cong \tan \theta = e$$

$$\cos \theta \cong 1$$

$$\mu \cdot e \ll 1$$

$$\frac{(\sin \theta + \mu \cdot \cos \theta)}{(\cos \theta - \mu \cdot \sin \theta)} \cong \frac{e + \mu}{1 - \mu \cdot e} \cong e + \mu$$

Quedando como aproximación:

$$V_{\text{límite}} \cong \sqrt{R \cdot g \cdot (e + \mu)}$$

20.3.2.- VUELCO. Cuando el vehículo, con mayor probabilidad para vehículos industriales de *gran altura*, pierde el equilibrio de “momentos”, se produce el vuelco (Velocidad límite en curva, para volcar).

Esta situación es debida a que el *momento* respecto al punto de rotación generado por las fuerzas centrífugas, sobrepasa el *momento* que realiza el peso del vehículo respecto a este mismo punto.

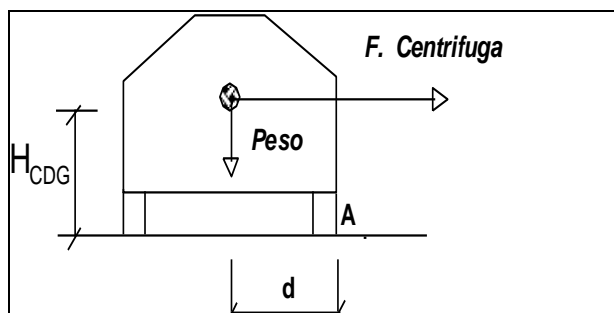


Gráfico 38. Esquema simplificado.

$$F_{\text{centrífuga}} = \frac{m A v^2}{r}$$

$$F_{\text{peso}} = m \cdot g \text{ (sin peraltes).}$$

$$M_A = m \cdot v^2 / R \cdot H_{CDG} \text{ (f. centrífugas)}$$

Siendo  $R$  el radio de la trayectoria curva del vehículo.

$$M'_A = m \cdot g \cdot d \text{ (peso)}$$

Igualando momentos:

$$V_{\text{límite al vuelco}} = \sqrt{\frac{R \cdot g \cdot d}{H_{CDG}}}$$

Igualmente la determinación de la velocidad crítica o velocidad superada la cual deja de surtir efecto la acción del peralte es:

$$V > 11,3 \sqrt{R \cdot (d / H_{CDG})}$$

Fórmulas que son aplicables a curvas sin peraltes, pues si lo hay, la fórmula será:

$$V_{\text{límite al vuelco}} = \sqrt{\frac{R \cdot \frac{d + H_{CDG} \cdot i}{H_{CDG} - d \cdot i}}{g}}$$

Siendo  $i$  la inclinación del peralte en tanto por ciento.

La fuerza centrífuga se manifiesta no sólo en el vehículo sino en los objetos que lleva dentro, ocasionando unos desplazamientos que pueden provocar fácilmente en vuelco.

#### 20.4.- PRINCIPIO DE CONSERVACIÓN DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO (PCCM).

Al estudiar la *tercera ley de Newton* se utilizan frecuentemente las palabras *acción* y *reacción*. Si la fuerza ejercida sobre el cuerpo  $A$  se denomina *acción* de  $B$  sobre  $A$ , entonces la fuerza que el cuerpo  $A$  ejerce sobre el cuerpo  $B$  se denomina *reacción* de  $A$  sobre  $B$ .

No importa qué fuerza en dicha pareja se denomina *acción* y cuál *reacción*.

El punto importante consiste en que las fuerzas siempre se presentan en parejas de *acción-reacción* y que la fuerza de reacción es igual a la fuerza de acción en cuanto a módulo y dirección, pero tiene sentido opuesto.

Obsérvese que las fuerzas de *acción* y *reacción* nunca pueden equilibrarse entre sí debido a que actúan sobre objetos diferentes.

Esto se aclara en el siguiente ejemplo:



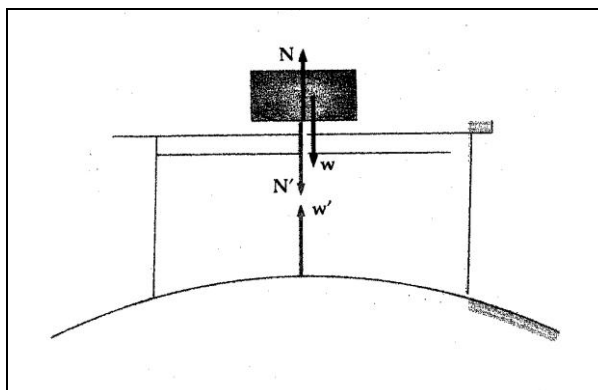


Figura 50. Fuerzas de acción-reacción.

La fuerza que actúa hacia abajo en el bloque es el peso  $w$  debido a la atracción de la Tierra. Una fuerza igual y opuesta  $w'$  es ejercida por el bloque sobre la Tierra. Éstas son parejas *acción-reacción*. Si fueran las únicas fuerzas actuantes, el bloque se aceleraría hacia abajo debido a que solamente existe una fuerza actuando sobre él. Sin embargo, la mesa en contacto con el bloque ejerce una fuerza  $N$  hacia arriba sobre dicho bloque. Esta fuerza equilibra el peso del mismo. El bloque a su vez ejerce una fuerza sobre la mesa  $N'$  dirigida hacia abajo. Las fuerzas  $N$  y  $N'$  son también una pareja *acción-reacción*. Existe una consecuencia sencilla pero importante de la *tercera ley* en el caso de dos objetos aislados de su medio ambiente, de modo que las únicas fuerzas que actúan sobre ellos son las que se ejercen entre sí.

Sea  $F_1$  la fuerza ejercida (por el cuerpo 2) sobre el cuerpo 1, cuya masa es  $m_1$  y su velocidad  $v_1$ , y  $F_2 = -F_1$  la fuerza ejercida sobre el cuerpo 2, cuya masa es  $m_2$  y su velocidad  $v_2$ . Aplicando la *segunda ley de Newton* a cada uno de los cuerpos, obtenemos:

$$F_1 = m_1 \cdot \frac{d v_1}{d t} \quad ; \quad F_2 = m_2 \cdot \frac{d v_2}{d t}$$

Sumando estas dos ecuaciones y utilizando  $F_2 = -F_1$ , obtenemos la *ley de la conservación de la cantidad de movimiento*:

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = \text{constante}$$

La magnitud dinámica  $mv$  recibe el nombre de *cantidad de movimiento* de la partícula. Para dos cuerpos sujetos únicamente a sus interacciones mutuas, la suma de las cantidades de movimiento de los cuerpos permanece constante a lo largo del tiempo:

$$q = m A v$$

Sus unidades son,  $\text{Kg} \cdot \text{m/s}$  ( $\text{mks}$ ).

Este resultado es equivalente a la *tercera ley de Newton*. Newton sabía que independientemente del tipo de colisión o choque que se produjese, la suma de las cantidades de movimiento de los dos cuerpos en colisión es la misma después del choque que antes.

20.4.1.- SUMAS VECTORIALES DE LAS CANTIDADES DE MOVIMIENTO. En *choques* o *colisiones*, la suma vectorial de las cantidades de movimiento justo antes de que ocurra el evento, es

igual a la suma vectorial de las cantidades de movimiento inmediatamente después de ocurrido. Cuando dos cuerpos de masas  $m_1$  y  $m_2$  chocan:

$$\vec{m_1 \cdot v_1} + \vec{m_2 \cdot v_2} = \vec{m_1 \cdot v'_1} + \vec{m \cdot v'_2}$$

donde  $v_1$  y  $v_2$  son las velocidades justo antes del choque, y  $v'_1$  y  $v'_2$  son las velocidades justo después del impacto. En forma de componentes vectoriales:

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

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

$$\vec{m_1 \cdot v_{1z}} + \vec{m_2 \cdot v_{2z}} = \vec{m_1 \cdot v'_{1z}} + \vec{m \cdot v'_{2z}}$$

**20.4.2.- LÍMITES DE SU APLICACIÓN EN LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES.** De acuerdo con lo expuesto por *Lynn B. Fricke*, de la Northwestern University Traffic Institute en su libro “Momentum Applications in Traffic Accident Reconstruction”, la aplicación a la reconstrucción de accidentes del *principio de la conservación de la cantidad de movimiento* (PCCM), es sensible cuando se dan las siguientes condiciones:

- a.- *Los ángulos de las trayectorias previas son casi rectos.*
- b.- *Los vehículos tienen un peso similar.*
- c.- *Los vehículos se desplazan al menos 15 ó 20 metros tras el impacto.*

**20.5.- LA GRAVITACIÓN UNIVERSAL.** Estudiemos someramente esta fuerza, de gran importancia en el campo del automóvil. Algunos no dudan en considerarla la más importante pues interviene incluso en un objeto (vehículo) en situación de reposo o inmovilidad.

**20.5.1.- LEY DE GRAVITACIÓN UNIVERSAL DE NEWTON.** Esta Ley dice: *A Todos los cuerpos se atraen entre sí con una fuerza directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre sus centros de masa,*

$$f = G \cdot \frac{m \cdot m'}{d^2}$$

donde:  $G$  es la constante de gravitación universal, independiente de todas las circunstancias o medio ambiente, que rodean a los cuerpos que se atraen. Su valor es:  $6.67 \times 10^{-11} \text{ Nw} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2 \text{ (mks)}$ . Y  $m$  y  $m'$  son las masas de los cuerpos y  $d$  la distancia entre sus centros de masa.

20.5.2.- BARICENTRO O CENTRO DE GRAVEDAD (CDG). Se conoce por Centro de Gravedad o Baricentro el punto donde se considera concentrado el Peso de un cuerpo. Si suspendiésemos dicho objeto de un hilo del citado punto, guardaría el equilibrio en cualquier posición que le diéramos.

El *centro de gravedad* de una figura geométrica regular y homogénea, es su centro geométrico.

El centro de gravedad de un vehículo no se mueve mientras éste realiza un movimiento uniforme sin aceleración debido al Principio de Inercia.

En toda colisión se ejerce una fuerza sobre el vehículo siguiendo una determinada trayectoria (Fuerza Principal de Impacto o FPI). Si esta fuerza se ejerce sobre una línea que pasa por el *centro de gravedad*, el vehículo sufrirá una aceleración o desaceleración en la prolongación de la línea sobre la que ha actuado la fuerza.

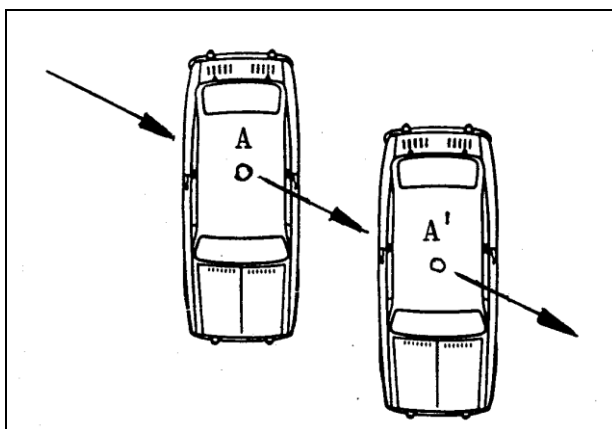


Figura 51. La fuerza sí pasa por el cdg (G).

Pero si ésta se ejerciera por una línea que no pasa por el *centro de gravedad*, el vehículo sufrirá un movimiento de rotación que tendrá como centro el de gravedad y se dirigirá en el mismo sentido en el que actúa la fuerza.

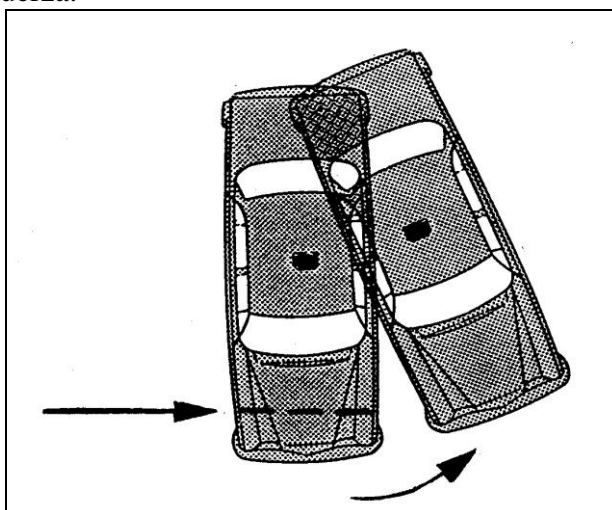
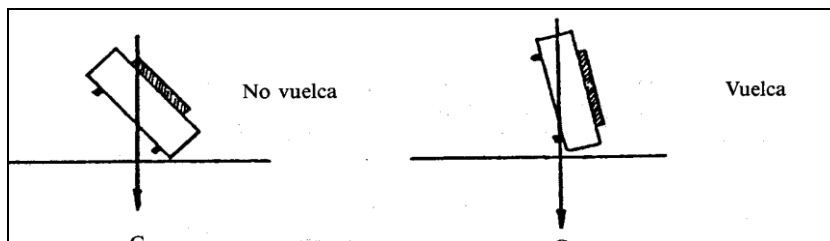


Figura 52. La fuerza pasa por un punto distinto del baricentro.

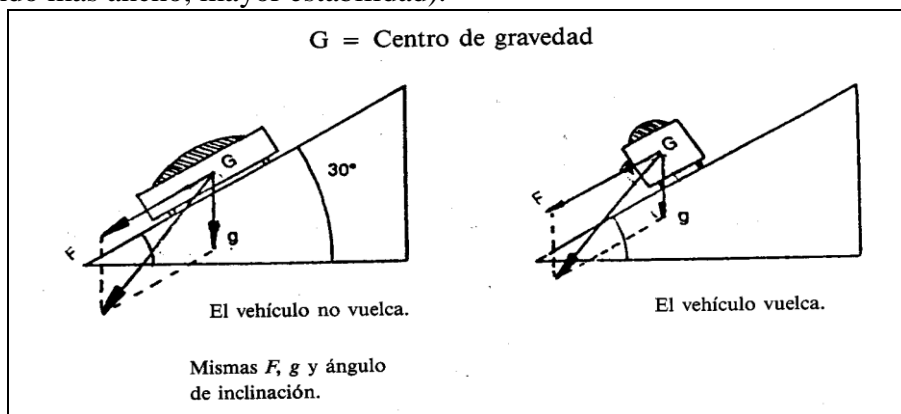
El resultado sería el mismo (la rotación) si la FPI no coincidiera en altura con el *cdg* (G) del vehículo que recibe el impacto.

El centro de gravedad influye en la estabilidad de los cuerpos de tal manera que cuando la resultante de todas las fuerzas que actúan sobre él, sale de la base de sustentación del cuerpo, éste pierde el equilibrio.



*Figura 53. Vuelco. No vuelco.*

Por tal motivo interesa siempre en aras de la mayor seguridad, que el centro de gravedad se halle lo más bajo posible como puede comprenderse en las figuras siguientes y que la distancia a los extremos de la base de sustentación del vehículo sea la mayor posible (cuanto más bajo sea el vehículo y cuando más ancho, mayor estabilidad).

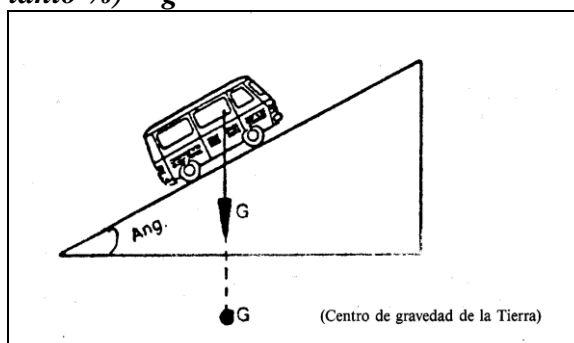


*Figura 54. El vehículo no vuelca. El vehículo vuelca.*

20.5.3.- PESO DE UN CUERPO. El peso como *fuerza* ya fue tratado anteriormente, no obstante, aquí realizaremos la siguiente ampliación del tema.

Como ya anticipábamos, el peso de un cuerpo disminuye conforme aumenta su altura. Por este motivo a un vehículo le cuesta más esfuerzo subir una rampa que bajar una pendiente. En dichas rampas y pendientes, la velocidad del vehículo disminuirá o aumentará o disminuirá respectivamente en el equivalente de la aceleración debido a la gravedad, en relación con el ángulo de inclinación de la rampa o pendiente. De ahí la fórmula:

$$v = \text{áng} (+ o - \text{ en tanto } \%) \cdot g$$



*Figura 55. Vehículo subiendo una rampa.*

El plano inclinado tanto puede ser en el aspecto longitudinal de la carretera (rampa y pendiente), como en el plano transversal (bombeo de la carretera y peralte). En estos últimos casos, el automóvil tiende a desplazarse desde el plano superior al inferior de la calzada, según los casos, y que está más bajo; este efecto debe ser corregido por el conductor mediante ligero giro del volante y esta fuerza transversal puede calcularse mediante la fórmula:

$$g = P \cdot i$$

siendo  $g$  la gravedad;  $P$  el peso del vehículo, e  $i$  el ángulo de inclinación transversal en %.

El no corregir esta trayectoria da lugar a la llamada “*huella del sueño*”, en la que puede verse una rodada libre, ligeramente inclinada hacia la parte inferior de la calzada, hasta que es corregida violentamente o termina en accidente.

Finalmente, tener en cuenta que un cuerpo, aunque ocupe menos espacio, puede tener más masa y, por tanto, más peso, dependiendo de su densidad. A más densidad, más masa.

$$m = volumen \cdot densidad$$

Nota.- Un (1) Ag@ significa que la fuerza total de la frenada es igual al peso del vehículo.

## **TEMA XXI**

**TÍTULO: FUNDAMENTOS FÍSICOS PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES-IV.**

### **A.- ESQUEMA:**

#### **21.1.- TRABAJO Y ENERGÍA.**

21.1.1.- TRABAJO.

21.1.2.- ENERGÍA CINÉTICA.

21.1.3.- ENERGÍA POTENCIAL.

21.1.3.1.- *Energía Potencial Gravitatoria.*

21.1.4.- PRINCIPIO DE CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA (PCE).

21.1.5.- ENERGÍA FRENANTE O DE ROZAMIENTO.

21.1.5.1.- *Relación entre la Fuerza Viva o cinética ( $E_c$ ) y la Energía Frenante ( $E_{rozamiento}$ ).*

#### **21.2.- EL CHOQUE.**

21.2.1.- CHOQUE PERFECTAMENTE ELÁSTICO.

21.2.2.- CHOQUE OBLICUO.

21.2.3.- CHOQUE INELÁSTICO.

21.2.4.- CHOQUES NO PERFECTAMENTE ELÁSTICOS.

#### **21.3.- ANÁLISIS DE ATROPELLOS A CICLISTAS Y PEATONES:**



### 21.3.1.- FORMULACIÓN PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES EN ATROPELLOS DE CICLISTAS Y PEATONES.

21.3.1.1.- *Método Haight & Eubanks basado en ensayos empíricos.*

21.3.1.2.- *Método teórico corregido según tablas RCAR (Research Commite for Automóvile Repairs).*

21.3.1.2.1.- *Correcciones a la formulación teórica.*

## TEMA XXI

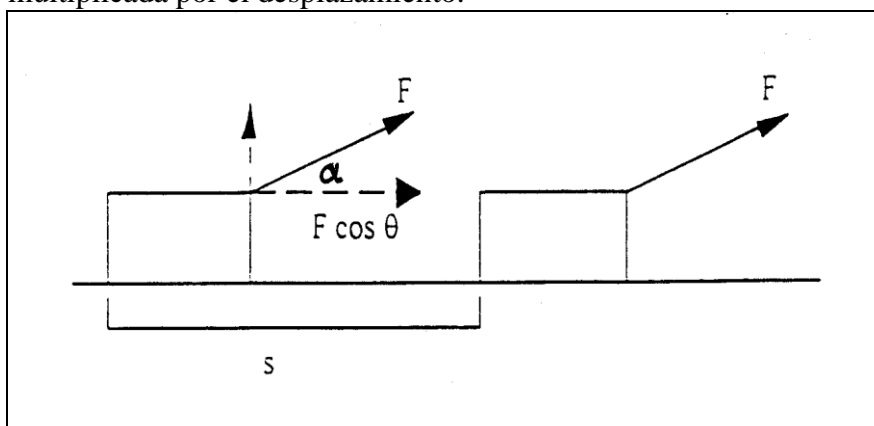
### TÍTULO: FUNDAMENTOS FÍSICOS PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES-IV.

#### B.- DESARROLLO:

#### 21.1.- TRABAJO Y ENERGÍA.

21.1.1.- TRABAJO. El trabajo efectuado por una fuerza  $F$  se define de la siguiente manera (*Gráfico 39*): cuando una fuerza  $F$  actúa sobre un cuerpo, este experimenta un desplazamiento vectorial  $s$ . La componente de  $F$  en la dirección de  $s$  es:  $F \cdot \cos \theta$ .

El trabajo  $W$  efectuado por la fuerza  $F$ , se define como la componente de  $F$  en la dirección del desplazamiento, multiplicada por el desplazamiento.



*Gráfico 39. trabajo de rozamiento.*

$$W = F \cdot s \cdot \cos \theta$$

Nótese que  $\alpha$  es el ángulo entre la fuerza y el vector desplazamiento. El trabajo es una magnitud escalar.

Si  $F$  y  $s$  están en la misma dirección y en el mismo sentido,  $\cos 0^\circ = 1$  y  $W = F \cdot s$ . Pero si  $F$  y  $s$  tienen sentidos opuestos, entonces  $\cos 180^\circ = -1$  y  $W = -F \cdot s$ , el trabajo es negativo.

Fuerzas como la de rozamiento disminuyen el movimiento de un objeto y su sentido es opuesto al desplazamiento, en tales casos efectúan un trabajo negativo.

**Unidades de trabajo.** Una unidad de fuerza por una unidad de longitud. Un Newton por metro, llamado *julio (J)*, es el trabajo efectuado por una fuerza de  $1N$  cuando desplaza a un objeto  $1m$  en la dirección y sentido de la fuerza.

**21.1.2.- ENERGÍA CINÉTICA.** La *Energía Cinética* ( $E_c$ ) de un objeto es su capacidad para realizar un trabajo debido a su movimiento. Si un objeto de masa  $m$  tiene una velocidad  $v$ , su  $E_c$  traslacional es:

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

siendo:  $m = \text{masa del objeto}$  y  $v = \text{velocidad}$ . Si  $m$  está en  $kg$ . y  $v$  en  $m/s$ , las unidades de  $E_c$  son julios.

El trabajo realizado por la fuerza que produce o modifica el movimiento de un objeto, es igual a la variación de la *energía cinética* de éste (Teorema de la Fuerzas Vivas). La fórmula que expresa el teorema es:

$$E_c = \frac{1}{2} m \cdot v_f^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_i^2$$

Y si el móvil parte del reposo ( $v_i = 0$ ), entonces:  $E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$

Como consecuencia de las anteriores igualdades, observamos que la *energía cinética* se mide en las mismas unidades que el trabajo, lo que nos indica también su ecuación de dimensiones.

Para expresar la  $E_c$  en Julios, la masa debe expresarse en *kilogramos* y la velocidad en  $m/s$ .

**21.1.3.- ENERGÍA POTENCIAL.** La *energía potencial* ( $E_p$ ) de un objeto es su capacidad para realizar trabajo debido a su posición en el campo gravitacional.

Cuando abandonamos un cuerpo a una cierta altura, adquiere una velocidad y, por tanto, una energía cinética que nos mide el trabajo realizado por el “peso” del cuerpo, cuando éste cae (*energía potencial gravitatoria*).

La energía potencial, como la cinética, se mide en las mismas unidades que el trabajo.

**21.1.3.1.- Energía Potencial Gravitatoria.** Energía potencial de gravitación en el campo terrestre es la aptitud que tiene el *peso* ( $m \cdot g$ ) de los cuerpos para realizar, al caer éstos, un trabajo.

El trabajo realizado por el peso ( $P$ ) al recorrer un camino  $s$ , es:

$$E_p = P \cdot s \cdot \cos \theta, \quad \text{o también} \quad W = F \cdot s \cdot \cos \theta$$

Pero siendo:  $s \cdot \cos \theta$  y  $P = m \cdot g$ , obtenemos:  $E_p = m \cdot g \cdot h$

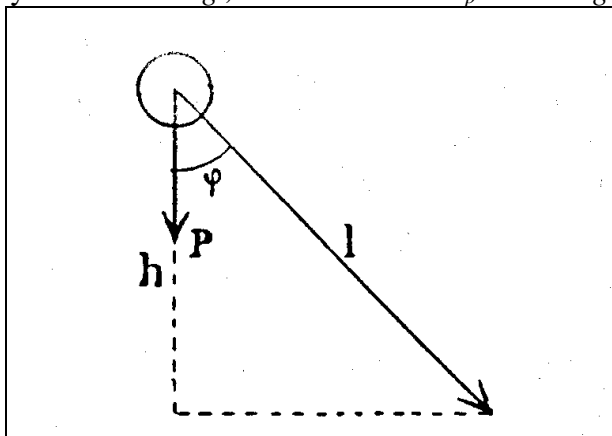


Gráfico 40. Energía potencial gravitatoria.

La energía potencial de gravitación o trabajo que puede realizar un cuerpo en su caída, es igual al peso por la altura, cualquiera que sea el camino recorrido.

Al trasladar un cuerpo de una posición A a otra B en la misma horizontal (Gráfico 41) no realizamos trabajo alguno contra la gravedad ( $h = 0$ ); se realiza trabajo, únicamente, para vencer las fuerzas de rozamiento.

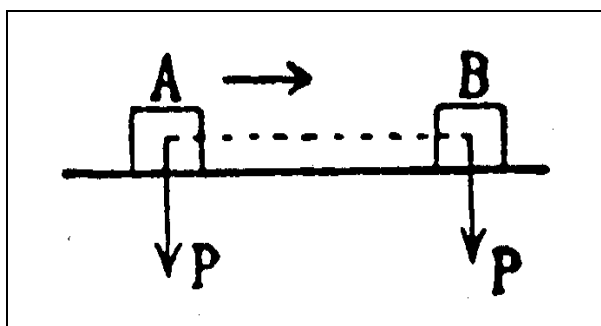


Gráfico 41. El peso efectúa un trabajo nulo.

En el caso de la Gráfico 42, el trabajo efectuado contra la gravedad para subir el cuerpo y el realizado a favor de ella al bajarlo, se anulan, por ser la misma altura en los dos casos.

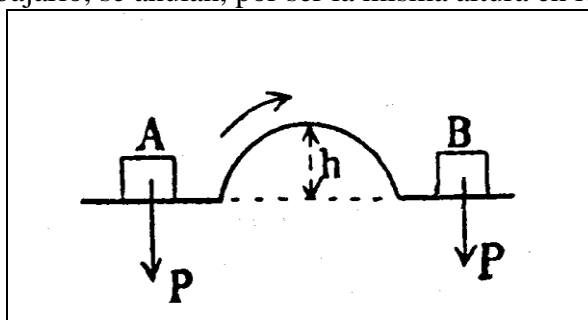


Gráfico 42. El peso efectúa un trabajo nulo.

Todos los cuerpos del Universo, tienden a adquirir las posiciones de menor energía potencial. Los cuerpos, en el campo gravitatorio terrestre, tienden a pasar de las mayores a las menores alturas.

La energía cinética o fuerza viva en sí misma es difícil de concebir; para lograr un elemento comparativo se acude a la llamada *Energía Potencial Gravitatoria*, que es la que posee un cuerpo en

virtud de su posición; es decir, un cuerpo de masa  $m$ , situado a una altura  $h$  sobre el suelo, posee una energía potencial de:

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

Por ser ésta la cantidad de trabajo que puede desarrollar al caer al suelo.

El cálculo de esta energía cinética en relación con la energía potencial puede apreciarse, al igualar ambas, de la siguiente forma:

$$2 m \cdot v^2 = m \cdot g \cdot h ; \quad \text{luego} \quad h = v^2 / 2 g = v^2 / 19'62.$$

**Ejercicio.-** ¿Si un vehículo circula a 100 km/h., es decir a 27'77 m/s, si chocara a esta velocidad con una roca indeformable e inamovible, los daños que se ocasionarían serían iguales que si este vehículo cayera desde qué altura, según se deduce de la fórmula anterior?.

$$h = 27'77^2 / 19'62 = 39'30 \text{ m.}$$

21.1.4.- PRINCIPIO DE CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA (PCE). Principio Universal de Conservación de la Energía *Ala energía ni se crea ni se destruye, simplemente se transforma*®.

Según el citado principio, supongamos un cuerpo quieto, al pie de un plano inclinado por el que pretendemos subirlo; el cuerpo roza con el plano y se opone, por ello, a su movimiento una fuerza  $R$  (Resistencia pasiva). Aplicamos al cuerpo una fuerza  $F$  paralela al plano y realizamos un recorrido  $s$  ( $L$ ), en la propia dirección de la fuerza; el trabajo realizado es:  $F \cdot s$  ( $L$ ).

Tal trabajo se ha empleado en *tres finalidades*:

11.- *Aumento de la energía cinética* del cuerpo ( $1/2 \cdot m \cdot v$ ); en la posición A la velocidad del cuerpo era cero (0); en la B es  $v$ .

21.- *Aumento de la energía potencial* de posición: al elevarse el cuerpo una altura  $h$  ha adquirido la posibilidad de realizar un trabajo en su caída ( $m \cdot g \cdot h$ ), es decir, se ha producido un aumento de la Energía Potencial Gravitatoria.

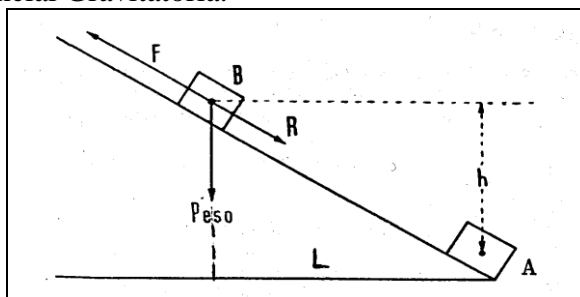


Gráfico 43.

31.- *Trabajo realizado contra las resistencias pasivas* ( $R, s$ ); por efecto de los rozamientos, el plano y el cuerpo se han calentado (el calor es una forma de la energía), calor que ceden al exterior hasta conseguirse el equilibrio térmico (igualdad de temperatura). En los cuerpos y en el aire ha quedado acumulada la *Energía calorífica*®.

El anterior ejemplo nos indica que *el trabajo de las fuerzas exteriores a un sistema, se emplea íntegramente en incrementar su energía* (consideramos como *Asistema*® en el anterior ejemplo, la materia que constituye el plano inclinado y el ambiente que les rodea).

Como consecuencia de lo anterior:

a).- *ASí no actúan fuerzas exteriores a un sistema, su energía permanece constante@.*

b).- Podrá haber intercambios entre unas u otras formas de energía, pero su suma, la energía total, es siempre la misma.

Considerando que el Universo es un sistema aislado, se puede afirmar que: La energía total del Universo se mantiene constante.

En el campo de los accidentes de tráfico, este Principio es de la mayor importancia, pues *un vehículo que circula a una velocidad posee una Energía Cinética que al colisionar con algún objeto no se perderá, sino que se transformará en calor, desplazamientos, deformaciones, etc.* Cuanta mayor sea su velocidad, mayor Energía habrá de transformarse, entre otras cosas, en daños personales y materiales.

21.1.5.- **ENERGÍA FRENANTE O DE ROZAMIENTO.** Empleamos este término para definir la cantidad de energía desarrollada por los neumáticos en la fase que va desde el punto de colisión (PC) hasta el punto de posición final (PF) de los vehículos que han colisionado, o desde que actuando sobre los frenos bloquea ruedas, hasta el punto de colisión (PC) o hasta la posición final (PF) según los casos.

La fórmula es:

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

Siendo:

$P$  = peso del vehículo.

$\mu$  = coeficiente de adherencia de la carretera.

$d$  = distancia recorrida desde el bloqueo de ruedas o desde el punto de colisión con ruedas trabadas.

$g$  = aceleración debida a la gravedad terrestre.

$m$  = masa.

21.1.5.1.- **Relación entre la Fuerza Viva o cinética ( $E_c$ ) y la Energía Frenante ( $E_{rozamiento}$ ).** Los dos términos, *fuerza viva* y *energía frenante o de rozamiento* tienen un valor equivalente, por lo que puede establecerse una conjunción de las fórmulas, de la que resultaría, según los casos, lo siguiente:

$$E_{cinética} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad \text{y} \quad E_{rozamiento} = m \cdot g \cdot \mu \cdot d$$

a.- *Sólo uno de los vehículos lleva velocidad.* En este caso  $P_1$  es el peso del vehículo que colisiona;  $P_2$  es el peso del vehículo contra el que colisiona;  $v$  la velocidad del vehículo que colisiona;  $\mu$  es el coeficiente de adherencia de la vía;  $d$  la distancia de desplazamiento, y  $g$  la gravedad (9,81 m/s<sup>2</sup>).

$$\frac{P_1 \cdot v^2}{2g} = P_2 \cdot \mu \cdot d ; \quad v = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot P_2 \cdot \mu \cdot d}{P_1}}$$

b.- *Ambos vehículos llevan velocidad.*

$$\frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v^2 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot (m_1 + m_2) \cdot v^2$$

multiplicando todo por 2, nos quedará:

$$m_1 \cdot v^2 + m_2 \cdot v^2 = (m_1 + m_2) \cdot v^2$$

c.- Considerando sólo la distancia de desplazamiento post-colisión, de un vehículo.

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

$$v = \sqrt{2 \cdot \mu \cdot g \cdot d}$$

d.- Considerando sólo la distancia pre-colisión, de un vehículo. En este caso, la velocidad inicial del vehículo quedará interrumpida por la colisión, luego además de la primera, hay que considerar una velocidad residual.

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{\text{inicial}}^2 = m \cdot g \cdot \mu \cdot d + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{\text{residual}}^2 ;$$

$$v = \sqrt{2 \cdot \mu \cdot g \cdot d + v_{\text{residual}}^2}$$

## 21.2.- EL CHOQUE.

21.2.1.- CHOQUE PERFECTAMENTE ELÁSTICO. Al chocar dos cuerpos perfectamente elásticos, se deforman en el choque y salen de él, recobrando su forma primitiva.

Estudiaremos únicamente el caso en el que las velocidades de los centros coinciden en dirección (choque central).

La cantidad de movimiento antes del choque es igual a la cantidad de movimiento después del choque (como ya se vio en el punto referido al PCCM), por no actuar sobre el sistema fuerzas exteriores.

También se cumple la energía cinética antes del choque, es igual a la de después del choque (visto en el punto referido al PCE), por no haber fuerzas exteriores ni modificación final de la forma o volumen de los cuerpos, que pudiera variar su energía potencial y por quedar los centros de masas de los cuerpos a la salida del choque, en la misma posición que al iniciarlo.

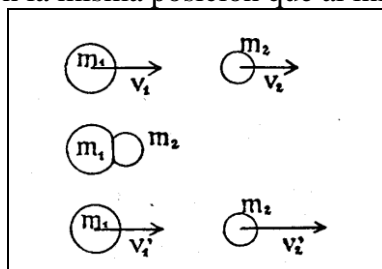


Gráfico 44. Choque perfectamente elástico

El problema de choque es: dadas las masas  $m_1$  y  $m_2$  de los cuerpos y sus velocidades  $v_1$  y  $v_2$ , determinar las velocidades  $v_1'$  y  $v_2'$  después del choque.

Expresando las igualdades enunciadas:

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot v_1' + m_2 \cdot v_2' \quad (1)$$



$$\frac{1}{2} m_1 \cdot v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 \cdot v_2^2 = \frac{1}{2} m_1 \cdot v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 \cdot v_2'^2 \quad (2)$$

De las anteriores obtenemos:

$$m_1 (v_1 - v_1') = m_2 (v_2' - v_2) \quad (3)$$

$$m_1 (v_1^2 - v_1'^2) = m_2 (v_2'^2 - v_2^2) \quad (4)$$

Por división, y considerando que la diferencia de cuadrados es suma por diferencia, obtenemos:

$$v_1 + v_1' = v_2 + v_2' \quad (5)$$

De esta ecuación obtenemos:

$$v_1' = v_2 + v_2' - v_1 ; \quad y \quad v_2' = v_1 + v_1' - v_2$$

Valores que sustituidos en (3) nos dan:

$$m_1 (v_1 - v_2 - v_2' + v_1') = m_2 (v_2' - v_2) \quad y$$

$$m_1 (v_1 - v_1') = m_2 (v_1 + v_1' - v_2 - v_2)$$

Desarrollando, agrupando términos y despejando, al fin, las incógnitas  $v_1'$  y  $v_2'$ , obtenemos:

$$v_1' = v_1 \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} + 2 \frac{m_2 \cdot v_2}{m_1 + m_2} \quad (6)$$

$$v_2' = 2 \frac{m_1 \cdot v_1}{m_1 + m_2} - v_2 \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \quad (7)$$

Si  $m_1 = m_2$ , es decir si los cuerpos que chocan son de igual masa,  $m$ , la diferencia  $m_1 - m_2$  se anula y las fórmulas anteriores se convierten en:

$$v_1' = 2 \frac{m \cdot v_2}{2 m} = v_2$$

$$v_2' = 2 \frac{m \cdot v_1}{2 m} = v_1$$

Si dos cuerpos, perfectamente elásticos y de masas iguales, chocan, la velocidad del primero es adquirida por el segundo, y a la inversa. Si además de ser  $m_1 = m_2$ , se verifica que  $v_2 = 0$ , es decir que uno de los cuerpos está parado, las fórmulas anteriores nos dan:

$$\begin{aligned} v_1' &= 0 \\ v_2' &= v_1 \end{aligned}$$

Si dos cuerpos, perfectamente elásticos y de masas iguales, chocan, estando uno de ellos en reposo, éste, después del choque, adquiere la velocidad del otro, y el que se movía queda en reposo.

Si uno de los cuerpos está fijo, es decir que  $v_2 = 0$  y su masa  $m_2$  es extraordinariamente mayor que la de  $m_1$ , la fórmula (6) se transforma u queda la ecuación:

$$v_1' = v_1 \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} = -v_1$$

Cuando un cuerpo, perfectamente elástico, choca normalmente con otro, también elástico, en reposo y de masa mucho mayor que la suya, sale con la misma velocidad que tenía antes del choque, pero en sentido contrario.

**21.2.2.- CHOQUE OBLICUO.** Es el problema clásico de la bola de billar, chocando, oblicuamente, en la banda de la mesa.

Cuando un cuerpo, perfectamente elástico, choca oblicuamente con otro, también elástico, en reposo y de masa mucho mayor que la suya, sale con la misma velocidad que tenía antes del choque, cumpliéndose que el ángulo de incidencia y el de reflexión son iguales.

$$v_1 = v_2$$

**21.2.3.- CHOQUE INELÁSTICO.** En el choque de los cuerpos perfectamente inelásticos, toda deformación producida en ellos se mantiene después del choque y el conjunto de los cuerpos, unidos adquiere una determinada velocidad,  $v$ .

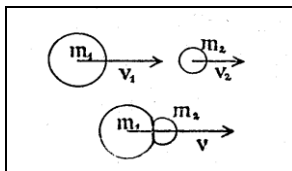


Gráfico 45. Choque inelástico.

La cantidad de movimiento antes del choque es igual a la cantidad de movimiento después del choque, por no actuar sobre el sistema fuerzas exteriores:

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = (m_1 + m_2) \cdot v$$

de donde:

$$v = \frac{m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2}{m_1 + m_2} \quad (8)$$

La energía cinética antes del choque es mayor que la de después del choque, transformándose su diferencia en energía de deformación y calor.

21.2.4.- CHOQUES NO PERFECTAMENTE ELÁSTICOS. El choque perfectamente elástico queda caracterizado (conservación de cantidad de movimiento y de la energía cinética del sistema) por la ecuación (5):

$$v_1 + v'_1 = v_2 + v'_2$$

$$v_1 - v_2 = - (v'_1 - v'_2) \quad (9)$$

$v_1 - v_2$  y  $v'_1 - v'_2$  representan a la velocidad relativa del primer cuerpo con respecto al segundo, antes y después del choque.

En el choque perfectamente elástico se verifica: la velocidad relativa de uno de los cuerpos con respecto al otro es, antes del choque, igual y de signo contrario a la de después del choque.

**21.3.- ANÁLISIS DE ATROPELLOS A CICLISTAS Y PEATONES. INTRODUCCIÓN.** La distancia a la que un peatón ha sido proyectado por un impacto *puede ser utilizada en Reconstrucción de Accidentes de Tráfico para proporcionar una estimación de la velocidad* a la cual circulaba el vehículo que lo golpeó. *En ausencia de huellas de frenada este método puede ser el único procedimiento para calcular la velocidad.*

La estimación de la velocidad a partir de la distancia a la que el peatón ha sido proyectado se sustenta en numerosos datos empíricos obtenidos en estudios de campo, los cuales relacionan la distancia de proyección del “dummy” (muñeco de ensayo) con la velocidad del vehículo utilizado en los ensayos. Sin embargo, los estudios de campo por si solos no proporcionan una explicación del proceso físico de proyección del peatón.

La comprensión de este proceso es fundamental para poder valorar la importancia que tiene considerar las características del lugar del atropello, tales como la pendiente del suelo o el coeficiente de rozamiento entre el peatón y pavimento.

En estos cálculos se representarán las ecuaciones del movimiento de una partícula, idealizando el comportamiento de un peatón proyectado, que tras describir un tiro parabólico por el aire se desliza sobre una superficie hasta alcanzar su posición final.

A partir de este modelo simplificado del movimiento de una partícula se obtiene la ecuación que permite determinar la *velocidad mínima* a la cual ha tenido que salir despedido el peatón atropellado para llegar a alcanzar su posición final sobre el pavimento, esta velocidad como se verá es función de la distancia recorrida desde el punto del atropello (PC) hasta la posición final (PF) y del coeficiente de rozamiento ( $\mu$ ) entre peatón y pavimento.

Para comprobar experimentalmente estas fórmulas se han realizado, en otros países, series de ensayos en los cuales varios “dummies” eran impactados por varios vehículos y se medía la distancia total recorrida. Se pudo comprobar que, a pesar de que existieron pequeñas discrepancias con respecto a la ecuación derivada del modelo simple que se ha comentado, estas discrepancias fueron pequeñas. Para la mayoría de los casos prácticos esta fórmula ofrece la posibilidad de estimar la velocidad con suficiente exactitud.

De todas formas no hay que perder de vista que la velocidad deducida con este modelo es la velocidad mínima a la cual debe haber salido proyectado el peatón. La velocidad a la que realmente salió despedido el peatón será por tanto ligeramente superior a la calculada y asimismo, la velocidad a la cual circulaba el vehículo que lo atropelló será también superior a la velocidad de proyección del peatón.

La comparación con los resultados de los estudios de campo establece que la velocidad del turismo en el instante del atropello es del orden de un 20% superior a la velocidad de proyección del peatón calculada por este método.

21.3.1.- FORMULACIÓN PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES EN ATROPELLOS DE CICLISTAS Y PEATONES. La trayectoria parabólica descrita por un cuerpo se mueve bajo la acción de la fuerza de gravedad se representa en el siguiente gráfico:

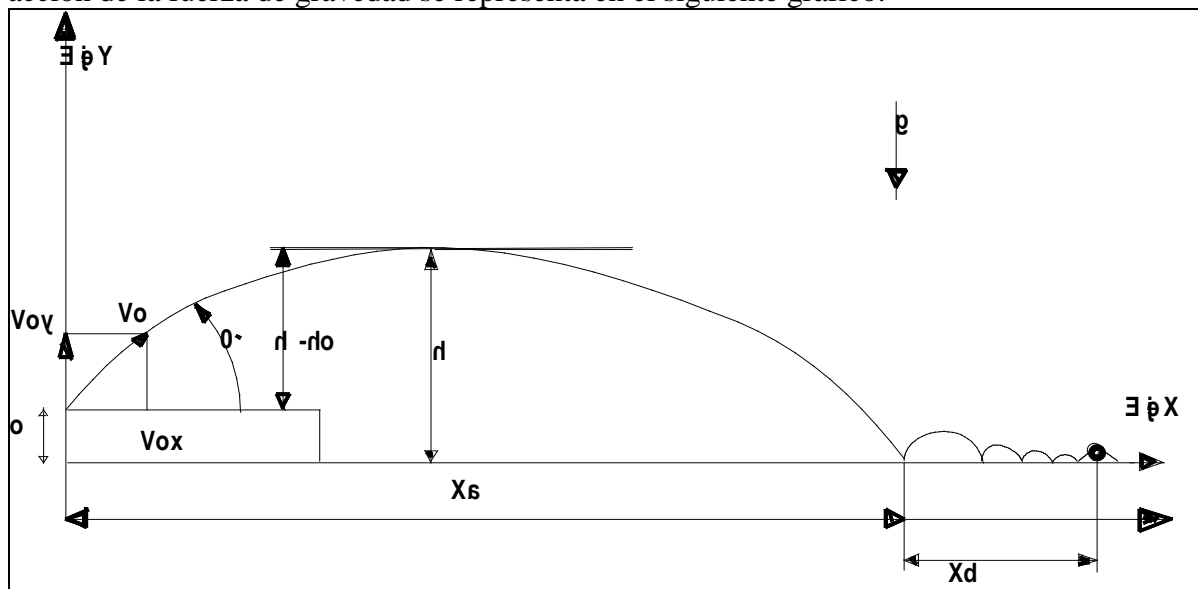


Gráfico 46. Movimiento de un móvil dentro del campo gravitatorio hasta su completa detención.

El significado de las abreviaturas que aparecen en la figura anterior es:

$g$   $\rightarrow$  aceleración debida a la gravedad.

$V_0$   $\rightarrow$  velocidad inicial del móvil.

$\theta$   $\rightarrow$  ángulo entre la velocidad inicial " $V_0$ " y la horizontal.

$V_{0x}$   $\rightarrow$  velocidad inicial del móvil en la dirección del eje  $X$ .

$V_{0y}$   $\rightarrow$  velocidad inicial del móvil en la dirección del eje  $Y$ .

$h_0$   $\rightarrow$  altura inicial del centro de gravedad del móvil.

$h$   $\rightarrow$  máxima altura que alcanza el móvil.

$X_a$   $\rightarrow$  distancia horizontal (alcance) recorrida por el móvil hasta que cae al suelo.

$X_b$   $\rightarrow$  distancia horizontal recorrida por el móvil una vez que ha caído al suelo.

Las características del movimiento mientras un cuerpo que se desplaza está en el aire, se corresponde con el denominado "tiro parabólico".

Como ya se ha indicado existen dos procedimientos diferentes para determinar la velocidad del vehículo en el momento del impacto:

1.- El método *Haight & Eubanks* basado en ensayos empíricos.

2.- El método *teórico corregido según tablas RCAR* (Research Commite for Automovile Repairs)

21.3.1.1.- **Método Haight & Eubanks basado en ensayos empíricos.** Diversos test llevados a cabo con "dummies" en los Estados Unidos de Norteamérica en los que el vehículo con las ruedas bloqueadas impacta contra el muñeco han sido analizados por diversos autores para calcular la velocidad en el momento del impacto (en unidades del Sistema Internacional), según Haight & Eubanks, de "Collision Investigation and Analysis" (San Diego, CA), la velocidad está ligada con la distancia " $x$ " -medida desde el punto del atropello hasta la posición final- por la siguiente relación:

$$v \geq 2'5 \cdot \theta \cdot 8,4 \cdot \mu^4 + 3,27 \cdot \mu \cdot x - 8,94 \cdot \mu^2 \pm 1'2$$

Si se quiere obtener una velocidad en el momento del impacto más realista que la obtenida de este modo, puede tenerse en cuenta el efecto del rozamiento del cuerpo con el aire para mejorar ligeramente los resultados. La desigualdad correctora (obtenida a partir de numerosos experimentos con paracaidistas realizados por el ejercito de los Estados Unidos) es la siguiente:

**a) Velocidades teóricas por encima de 98 km/h:**

$$V_{\text{correctada}} \geq V_{\text{teórica}} + 1'22 + 0'33 \cdot 7 \cdot V_{\text{teórica}} \leftrightarrow 3'6 \cdot t - 27'432 \cdot t \cdot 3'6$$

Siendo “t” el tiempo que el móvil permanece en el aire.

En la ecuación anterior las velocidades están todas expresadas en Km/h.

**b) Velocidades teóricas por debajo de 98 Km/h:**

$$V_{\text{correctada}} \geq V_{\text{teórica}} \cdot (1 + t \cdot 0'046)$$

**21.3.1.2.- Método teórico corregido según tablas RCAR (Research Commitee for Automobile Repairs).** El otro sistema para la determinación de velocidades en los casos de atropellos a ciclistas y peatones se basa en la formulación teórica del tiro parabólico, desarrolladas como a continuación se detalla. El movimiento de *un móvil atropellado* por un vehículo describe una trayectoria como la señalada en el *gráfico 46*, como puede observarse, el movimiento del cuerpo se compone de varias trayectorias determinadas por las leyes de la física (tiro parabólico, movimiento rectilíneo uniformemente decelerado etc.), tras realizar las diferentes composiciones matemáticas se llega a la siguiente ecuación que determina la velocidad mínima de salida a la que es proyectado el cuerpo:

$$V_{\text{mínima}} \geq \rho \frac{2 \cdot \mu \cdot g \cdot S + \mu \cdot H}{1 + \mu^2} \quad \text{Fórmula ( 1 )}$$

Donde:

- μ**     $\geq$  coeficiente de rozamiento,  
(corregido en función de la pendiente,  $\mu_{\text{correctado}} \geq \mu \cdot \cos \nabla + \sin \nabla$ )
- g**     $\geq$  aceleración debida a la gravedad (9'8 m/s<sup>2</sup>).
- S**     $\geq$  distancia total recorrida por el peatón ( $S \geq X_a + X_b$ ).
- H**     $\geq$  altura del punto de salida a la que queda detenido el peatón..

**21.3.1.2.1.- Correcciones a la formulación teórica.** La teoría antes expuesta asume que el deslizamiento del cuerpo ocurre de manera uniforme a partir del punto de contacto inicial entre el peatón y el suelo y por tanto que no existe un volteo o rodamiento del cuerpo sobre el suelo. Pero el movimiento de un peatón no tiene el porqué responder exactamente a esta premisa, de forma que si un cuerpo rueda tras caer al suelo, la fuerza que se opone a su movimiento puede ser inferior a la fuerza que se calcularía multiplicando el coeficiente de rozamiento peatón/pavimento, **μ**, por el peso del peatón. Numerosos experimentos realizados arrojando “dummies” desde un altura conocida y con una velocidad inicial también conocida, recomiendan disminuir la velocidad mínima calculada, en los porcentajes que se indican en la **tabla 1**, en función del coeficiente de rozamiento peatón/pavimento, **μ**, correspondiente al accidente analizado.

<b>μ</b>	<b>corrección</b>
0,1	0,4%
0,2	1,5%



0,3	2,8%
0,4	3,9%
0,5	4,6%
0,6	4,9%
0,7	4,8%
0,8	4,3%
0,9	3,5%
1,0	2,5%



**Tabla 1.** Porcentaje de reducción recomendada para la velocidad mínima de proyección calculada con el método teórico.

Este coeficiente de rozamiento depende del estado del pavimento y de la ropa que utilizase el peatón, varios ensayos apuntan valores en torno a 0,7 para un firme asfáltico seco y con una ropa consistente en prendas de algodón o de las fibras más comunes, pero por ejemplo un motorista que utilice un mono de cuero tendrá un coeficiente de rozamiento menor con el asfalto y lo mismo ocurrirá con prendas normales sobre un asfalto pulido y mojado.

$\mu$	Corrección
0,4	-14%
0,5	-8%
0,6	-3%
0,7	0%
0,8	%2%
0,9	%3%
1	%3%

**Tabla 2.** Porcentaje de error cometido en el cálculo de la velocidad mínima de proyección adoptando  $\mu$  0,7 cuando en realidad tiene un valor distinto.

Como ya se ha comentado, varios, ensayos han establecido un valor del coeficiente de rozamiento de 0,7 en las condiciones que más frecuentemente se presentan, es decir, asfalto seco y peatón con prendas no especialmente deslizantes, pero si el cálculo se realiza con este valor cuando el valor real es inferior o superior se comete un ligero error, que se acota con la **tabla 2**. El ángulo de proyección también tiene alguna influencia, pero su repercusión es limitada, sobre la velocidad real de proyección. Para un  $\mu$  de 0,7 y expresando la variación como un porcentaje de incremento de la velocidad real sobre la velocidad mínima calculada para el ángulo óptimo de proyección, se tienen los valores mostrados en la **tabla 3**.

ángulo 2	incremento
10	%10%
20	%4%
30	0%
40	0%
50	%4%

60	%10%
----	------

**Tabla 3.** Porcentaje de incremento de la velocidad real de proyección, sobre la velocidad mínima calculada, en función del ángulo de salida del peatón 2.

Es decir, la velocidad mínima de proyección se obtendría para un ángulo óptimo de salida:

$$2 \ni \arctg \mu$$

Pero si este ángulo de salida no es el óptimo, la *velocidad real de proyección* es superior a la calculada.

Otro de los factores a considerar para corregir los cálculos realizados con la fórmula anterior es la pendiente de la carretera, cuyo efecto tiene más influencia cuando la superficie tenga un bajo coeficiente de rozamiento, por ejemplo si la calzada se encuentra helada. El incremento que debe añadirse sobre la velocidad mínima de proyección, calculada sin considerar la pendiente, cuando ésta realmente existe, se encuentra recogido en la **tabla 4**, para superficies con distintas adherencias.

Pendiente	$\mu \ni 0,2$	$\mu \ni 0,4$	$\mu \ni 0,6$	$\mu \ni 0,8$	$\mu \ni 1,0$
12,5%	27%	14%	10%	7%	6%
6%	15%	7%	5%	4%	3%
3%	8%	4%	3%	2%	2%

**Tabla 4.** Porcentaje a incrementar la velocidad mínima calculada con la **fórmula (1)** para tener en cuenta el efecto de la pendiente.

Como puede comprobarse en esta tabla, para pendientes poco importantes, es decir, que no resulten claramente perceptibles por un observador, el error cometido al no considerarlas es muy pequeño, salvo cuando la calzada se encuentre helada ( $\mu$  de 0,2).

Por otro lado, si se quiere tener en cuenta la pendiente de la calzada directamente en el cálculo de la velocidad mínima de proyección ya se comentó la forma de hacerlo: bastará con sustituir  $\mu$  corregido  $\ni \mu \cdot \cos \nabla + \text{sen } \nabla$ .

Como última posible corrección, o mejor dicho como simplificación de cálculo, indicar que la mayoría de las veces el peatón no es proyectado desde el nivel del suelo, sino desde una cierta altura, aunque pequeña, que se corresponde con el último punto de contacto con el vehículo, generalmente su parabrisas.

Esta altura suele ser en torno a un metro, por tanto debería introducirse en la ecuación el valor  $H \ni -1$ , ya que la posición final del centro de gravedad del peatón queda un metro más abajo que la posición ocupada al inicio de la proyección.

Si se adopta en el cálculo, por simplicidad,  $H \ni 0$ , la fórmula para obtener la velocidad mínima de proyección del peatón queda:

$$V_{\text{mínima}} = \rho \sqrt{\frac{2 \cdot \mu \cdot g \cdot S}{\rho}}$$

**Fórmula simplificada (2)**



$$1 + \mu^2$$

El error cometido con esta simplificación es pequeño para la mayoría de distancias de proyección que pueden encontrarse en la práctica y en la **tabla 5** se encuentra acotado.

Distancia S	$\mu \ni 0,2$	$\mu \ni 0,4$	$\mu \ni 0,6$	$\mu \ni 0,8$	$\mu \ni 1,0$
10 m	-1%	-2%	-3%	-4%	-5%
20 m	-1%	-1%	-2%	-2%	-3%
40 m	0%	-1%	-1%	-1%	-1%

**Tabla 5.** Porcentaje a disminuir la velocidad mínima calculada con la **fórmula simplificada** (2) cuando en realidad el centro de gravedad del peatón inicia la proyección un metro por encima de su posición final sobre la calzada ( $H \ni -1$ ).

Por último repetir que esta velocidad que estamos calculando con esta formulación y a la que hemos efectuado diversas correcciones para tener en cuenta las variaciones del coeficiente de rozamiento, de la pendiente, del ángulo de salida, etc., *es la velocidad mínima* a la que tuvo que salir despedido el peatón atropellado para recorrer la distancia total (S), pero la velocidad a la cual circulaba el automóvil al iniciarse el atropello era superior a la velocidad de salida del peatón, puesto que la proyección se produce tras unos instantes en los cuales la velocidad del peatón y vehículo ya se han igualado.

*Diversos ensayos de campo sugieren que la velocidad mínima de un turismo que realiza el atropello es aproximadamente un 20% superior a la velocidad mínima determinada para la proyección del peatón*, por tanto estos datos empíricos justifican que para determinar la velocidad del vehículo se tenga en cuenta este incremento.



## **TEMA XXII**

**TÍTULO:**    **APLICACIONES INFORMÁTICAS A LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES.**

### **A.- ESQUEMA:**

#### **22.1.- PROGRAMAS INFORMÁTICOS DE RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES.**

22.1.1.- PREMISAS GENERALES.

22.1.2.- PREMISAS. PROPUESTA DE VALORACIÓN.

22.1.3.- LA “PELÍCULA DEL ACCIDENTE”.

#### **22.2.- ENSAYOS INFORMÁTICOS.**

22.2.1.- ENSAYOS DE FRENADA.

22.2.2.- ENSAYOS DE TIEMPOS DE REACCIÓN.

22.2.3.- ENSAYOS DE COLISIÓN FRONTO-LATERAL CON DIFERENTES ÁNGULOS DE COLISIÓN.

#### **22.3.- CONCLUSIÓN.**



## **TEMA XXII**

### **TÍTULO:    APLICACIONES INFORMÁTICAS A LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES.**

#### **B.- DESARROLLO:**

##### **22.1.- PROGRAMAS INFORMÁTICOS DE RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES.**

Una reflexión aparte merece la irrupción de numerosos *programas informáticos de reconstrucción de accidentes*, debido al impacto que tales aplicaciones han generado en todos los sectores relacionados con la investigación de accidentes, incluso en los más expertos de cuantos se dedican a dicha labor.

Es imprescindible reconocer que si se ignora que las unidades de tráfico están sometidas enteramente a las leyes universales de la física, tanto estáticas como dinámicas, mal puede pretenderse que la reconstrucción alcance un mínimo de fidelidad y precisión.

En efecto, las unidades de tráfico (los vehículos, peatones y, además los elementos análogos, como animales, objetos y otros) confluyen en el punto de conflicto (PC) en consideración a *tiempos, espacios...* y todas las secuencias de la reconstrucción del accidente, mantienen un sostén en las citadas leyes de la física y dinámica de los cuerpos. Este es el punto de partida que da soporte a tales programas informáticos<sup>9</sup>.

Un matiz relevante que merece destacarse es el hecho de que los programas de reconstrucción se circunscriben a los cálculos de velocidades por medio de las energías disipadas. Esta afirmación denota el principal *peligro de ceñir o reforzar el elemento velocidad como el sustento de toda reconstrucción*, esto es, instalarlo como soberano del proceso de la misma, cuando es sabido que la velocidad es en muchas ocasiones un elemento meramente secundario cuando no intrascendente.

22.1.1.- PREMISAS GENERALES. Como consecuencia de las experiencias adquiridas durante el estudio y utilización de programas informáticos como *SINRAT*, *RECONSTRUCTOR 98 Y PC-CRASH*, llevadas a cabo por el Grupo II, Área de Investigación de Accidentes, de la Escuela de Tráfico de la Guardia Civil, en Mérida (Badajoz), se llegaron a conclusiones que resumidas en sentido amplio y contrastadas con otros datos empíricos, llevaron a las siguientes consideraciones:

- Un programa de reconstrucción de accidentes por ordenador *nunca deberá ser la solución absoluta*, ya que el resultado a conseguir dependerá de la calidad y cantidad de información que en modo de “inputs” se introduzcan en el programa, y que la complejidad de éstos hace que no sean conocidos (a pesar de la labor de recogida y registro del investigador de campo) y por tanto *deben ser estimados* entre un rango de valores.
- Del punto anterior se colige que *la labor principal de captación de datos sigue manteniendo plena autoridad como básica* para llevar a cabo una correcta reconstrucción del accidente (J. Borrell).
- El núcleo de la tarea reconstructiva, sigue siendo el *raciocinio* (J. Borrell).
- Los programas de reconstrucción pueden ser unos elementos auxiliares de notable valor cuando se usa el análisis de los “momentos” (J. Borrell).
- *La mayoría de los programas pretenden ser una herramienta más de apoyo* en la investigación de accidentes, v. gr.: en averiguar la *forma o cómo* se produjo el accidente.
- *El resultado más relevante de la generalidad de los programas, no el único, viene expresado en el cálculo de la velocidad, inicial o en conflicto, del móvil.*
- *Las particulares limitaciones de los programas, con respecto a la casuística de los accidentes, en algunas ocasiones los convierten en complementarios unos de otros, por lo que se necesitan tener varios o uno muy potente.*
- Que *a mayores prestaciones del programa* (ampliación de la casuística para la que es útil), se corresponde una *mayor complejidad del mismo y una particular preparación de su OPERADOR.*
- Que *no es recomendable la utilización de programas informáticos* de reconstrucción de accidentes sin:
  - a.1.- *Tener buenos conocimientos de los fundamentos físico-dinámicos o contar en el equipo con un ingeniero mecánico.*
  - a.2.- *Conocer las simplificaciones y restricciones del programa informático y su “hoja de cálculo”, para estar en condiciones de razonar los resultados.*
  - a.3.- *Poseer experiencia en la investigación de accidentes y poder modular tanto la entrada de “inputs” como realizar el razonamiento de la elección de las diferentes posibilidades que puede aportar el programa\*.*

\* (determinados cálculos son muy sensibles ante pequeñas variaciones de los datos de partida; esta realidad hace descartable por inseguro el resultado. Es lo que ha venido en denominarse la “sensibilidad del cálculo” en algunas fórmulas. J. Borrell).

22.1.2.- PREMISAS. PROPUESTA DE VALORACIÓN. Los programas informáticos citados, son de alta fiabilidad, pero si tenemos en cuenta que para su “manejo” se requieren:



- Unos conocimientos “suficientes” de los fundamentos físico-dinámicos para una correcta “*introducción de datos*” en el programa,
- Una “*experiencia en investigación de accidentes*” para la revisión del “*alto número de posibles soluciones*” (según variables que se introduzcan en el programa) y elección de la solución (*más*) adecuada,...

***sin olvidar en definitiva que:***

- La necesaria “*intervención humana*”, que podrá tildarse de *parcial* o *imparcial* es fundamental para ello, es por lo que *se propone* que el “*observador del resultado*” deberá preguntarse *¿Cómo se ha llegado a esa solución?*:
  - a.1.- ¿Qué datos del accidente se han recogido?
  - a.2.- ¿Cuáles se han introducido en el programa?
  - a.3.- ¿Quién los ha recogido y quién los ha introducido?
  - a.4.- ¿Qué valoraciones se han realizado sobre determinados datos de entrada?
  - a.5.- ¿Qué valoraciones se han realizado sobre determinados datos de salida?
  - a.6.- ¿Qué actuaciones del conductor, o usuarios, se han tenido en cuenta?
  - a.7.- ¿Qué actuaciones del peatón se consideraron?

22.1.3.- LA “*PELÍCULA DEL ACCIDENTE*”. La reconstrucción y consiguiente representación gráfica en imágenes en dos o mejor en tres dimensiones, constituyen hoy una “*película*” que pretende asemejarse a los hechos reales, pero esa película no es más que el reflejo de unos datos que, obtenidos, entre otros, en la fase de *la información*, se han estimado como los idóneos –por quién, y por qué– y por tanto se han introducido en el programa informático –hoja de cálculo ciega, que en función de los *inputs* (datos) proporcionados, así será el resultado, fruto de la aplicación de unas fórmulas fijas e inalterables de la física y las matemáticas– como fruto de la investigación, siendo ésta el resultado de la labor humana de raciocinio.

Y todo ello para que la “*PELÍCULA DEL ACCIDENTE*” (que puede durar escasos segundos) se asemeje al “*hecho real*”.

**22.2.- ENSAYOS INFORMÁTICOS.** Tomando como herramienta de trabajo el programa informático “PC CRASH 6.0”, y partiendo de la valoración de que cualquier programa de reconstrucción no es más que una “*potente hoja de cálculo*” que desarrolla los principios de la física y la dinámica, es decir, podríamos tomar como herramienta de trabajo cualquier otro programa y la diferencia estaría tan sólo en la potencia y capacidad de desarrollo de su hoja de cálculo –no en la posibilidad de pensar, hoy por hoy vedada a la máquina–, podremos corroborar la “*sensibilidad del cálculo*” –determinados cálculos son muy sensibles ante pequeñas variaciones de los datos de partida, esta realidad hace descartable, por inseguro, el resultado– y por tanto de los resultados a las variaciones de los datos introducidos, es decir, “*ligeras modificaciones conducen a notables diferencias en la conclusión final*”.

Por otro lado no es ocioso resaltar que los modelos teóricos físicos tienden a la simplificación de la complejidad real que conllevan, puesto que de otro modo el cálculo sería no sólo difícilmente alcanzable sino que, en la mayoría de los casos, *irrealizable*.

22.2.1.- ENSAYOS DE FRENADA. Teniendo como *datos* principales de *entrada*, entre otros muchos que pueden ser considerados, los siguientes:



### **PRIMERO.**

- a.- *Vehículo:* Seat Toledo.
- b.- *Calzada:* Recta y a nivel (sin inclinaciones longitudinales ni transversales).
- c.- *Velocidad:* Inicial de 90 km/h.
- d.- *Fuerza de frenada:* Misma fuerza de frenada en las cuatro ruedas.
- e.- *Coefficiente de fricción:* DATO VARIABLE!!:
  - 1.- Un vehículo, 0,5.
  - 2.- Otro vehículo, 0,8.

El resultado es el siguiente:

- a.- Con el coeficiente de 0'5 se obtuvo una frenada de 62,3 metros.
- b.- Con el coeficiente de 0'8 se obtuvo una frenada de 38,6 metros.

De lo que *se deduce* que, una diferencia en la apreciación del *coeficiente de fricción* de 0,3, se traduce en una diferencia de resultado de 23,7 metros, es decir, más de tres veces el ancho de una carretera de ancho convencional –7,20 metros-.

### **SEGUNDO.**

- a.- *Vehículos:* Seat Toledo (ambos).
- b.- *Calzada:* Recta y a nivel (sin inclinaciones longitudinales ni transversales).
- c.- *Velocidad:* Inicial de 90 km/h.
- d.- *Coefficiente de fricción:* 0,8.
- e.- *Fuerza de frenada:* DATO VARIABLE!!:
  - 1.- Un vehículo frena con la misma fuerza de frenada en las cuatro ruedas.
  - 2.- Otro vehículo con diferente fuerza de frenada en el eje anterior y en el posterior.

El resultado es el siguiente:

- a.- Con la misma fuerza de frenada en las cuatro ruedas (bloquea de las cuatro ruedas) se obtuvo una frenada de 39,9 metros.
- b.- Con desigual fuerza de frenada en los ejes anterior –99,9 %- y posterior –40%-: se obtuvo una frenada de 53,1 metros.

De lo que *se deduce* que, una diferencia en la apreciación de las huellas de frenado –de dos o de cuatro ruedas, más la valoración del porcentaje de fuerza de frenada que le corresponde a cada eje-, se traduce en una diferencia de resultado de 13,2 metros, es decir, casi cuatro veces el ancho de un carril de una carretera de ancho convencional –3,60 metros-.

### **TERCERO.**

- a.- *Vehículo:* Audi A-4.
- b.- *Calzada:* Tramo curvo y a nivel (sin inclinaciones longitudinales).
- c.- *Velocidad:* Inicial de 80 km/h.
- d.- *Peralte:* 4 %.
- e.- *Radio de la curva:* 80 metros (*curva muy cerrada*).
- e.- *Sistema de frenado:* DATO VARIABLE!!:
  - 1.- Un vehículo frena con ABS. Frenada severa iniciada la curva.
  - 2.- Otro vehículo frena sin ABS. Frenada severa iniciada la curva.

El resultado es el siguiente:



- a.- Con ABS, tras un ligero “cabeceo” longitudinal, sigue la trayectoria de la curva por su carril.
- b.- Sin ABS, tras un “cabeceo longitudinal severo”, invade el carril de su izquierda.

De lo que *se deduce* que:

- 1.- Una diferencia en el sistema de frenado –convencional o ABS-.
- 2.- Una diferente eficacia –caso de que ambos vehículos tengan el mismo sistema-.
- 3.- Una diferencia en su aplicación –por la acción del conductor- o respuesta –según su estado y porcentaje de utilidad-.

Se traducen en una invasión o no del carril izquierdo y por tanto de una posibilidad de accidente grave.

22.2.2.- ENSAYOS DE TIEMPOS DE REACCIÓN. Es conocido de todos que el *tiempo de reacción* de una persona “normal” está cifrado en una horquilla de 0,4 a 2 segundos, si bien en la mayoría de los casos, se considera una segunda horquilla que va *de 0,75 a 1 segundo*, valoraciones que el investigador realizará en función de los datos obtenidos en la fase de *Observación, Recogida y Registro de la Información* y que en definitiva le llevarán a realizar “valoraciones” un tanto “*subjetivas*” en función de esos datos, para adjudicar uno u otro valor. Teniendo en cuenta lo anterior, como *datos* principales de *entrada*, entre otros muchos que pueden ser considerados, se nos puede plantear la siguiente situación:

- a.- *Vehículo*: Citroen Xantia 1.8 16 v.
- b.- *Calzada*: Recta y a nivel (sin inclinaciones longitudinales ni transversales).
- c.- *Velocidad*: Inicial de 75 km/h.
- d.- *Fuerza de frenada*: Severa.
- e.- *Tiempo de reacción*: DATO VARIABLE!!:
  - 1.- Un conductor, *1 segundo*.
  - 2.- Otro conductor, *1,5 segundos*.

El resultado es el siguiente:

- a.- El conductor que reacciona al segundo se detiene tras una frenada de *60,5 metros* y **NO COLISIONA!!**.
- b.- El conductor que reacciona al segundo y medio, no logra detenerse a tiempo y **SI COLISIONA!!**.

De lo que *se deduce* que, una diferencia en la valoración –un tanto subjetiva- del tiempo de reacción, nos puede llevar a la conclusión de que **SI colisiona** o de que **NO colisiona** el vehículo conducido por dicha persona.

22.2.3.- ENSAYOS DE COLISIÓN FRONTO-LATERAL CON DIFERENTES ÁNGULOS DE COLISIÓN. Continuando con la *sensibilidad del cálculo* y consiguiente *sensibilidad de los inputs* a suministrar a la hoja de cálculo del programa informático, vamos a ver la incidencia no ya de las distintas alturas de los centros de gravedad de los vehículos “*momentos verticales*”, ni tampoco las diferencias de dichos centros de gravedad en el plano



horizontal “*momentos horizontales*” que son sumamente importantes y determinantes a la hora de realizar los cálculos físicos, sino también considerando la de los *ángulos de las proyecciones longitudinales de los centros de gravedad*, datos que el investigador va a obtener de la información obtenida en la *observación, recogida y registro de datos*:

- a.- *Vehículos*: Seat Córdoba y Audi A-4
- b.- *Centro de gravedad*: Variable.
- c.- *Velocidad*: Variable.
- d.- *Coefficiente de fricción*: Estable del 0,8.

El resultado es el siguiente:

- a.- Con *ángulos distintos* se obtienen sensibles variaciones en las posiciones finales.
- b.- Con *alturas del cdg distintas*, se obtienen sensibles variaciones en las posiciones finales.

De lo que *se deduce* que, una diferencia en ángulos, alturas del *cdg* (centro de gravedad) o no consideración correcta de “*los momentos*”, nos llevarán, independientemente de la calidad de la hoja de cálculo del programa informático a utilizar en la reconstrucción, a resultados sensiblemente diferentes.

**22.3.- CONCLUSIÓN.** Las anteriores circunstancias han de ser valoradas por el investigador y deberá estar en condiciones de poder razonarlas ante el Juez o Tribunal, no solo en cuanto a la factibilidad de los datos introducidos, sino también con respecto a los resultados obtenidos del programa. En definitiva, los programas informáticos de reconstrucción de accidentes son una verdadera herramienta de ayuda del investigador, pero la labor “humana” de recogida de la información y análisis de la misma, continuará siendo una tarea insustituible por una máquina.

## **TEMA XXIII**

**TÍTULO:**     **EL INCENDIO Y EL ACCIDENTE DE TRÁFICO.**

**A.- ESQUEMA:**

**23.1.- TIPOLOGÍA DEL ACCIDENTE DE TRÁFICO.**



### **23.2.- ACCIDENTE POR INCENDIO.**

### **23.3.- INCENDIO POR ACCIDENTE.**

### **23.4.- LA INSPECCIÓN OCULAR EN INCENDIOS DE VEHÍCULOS.**

23.4.1.- Conceptos generales sobre el fuego.

23.4.2.- Introducción a la inspección ocular por incendios.

23.4.3.- Porqué arde el vehículo.

23.4.3.1.- *Circuito de gasolina.*

23.4.3.1.1.- *Depósito de gasolina.*

23.4.3.1.2.- *El colector.*

23.4.3.1.3.- *El carburador.*

23.4.3.2.- *La electricidad del automóvil como consecuencia del incendio.*

23.4.3.2.1.- *Por la batería.*

23.4.3.2.2.- *Por los cables.*

23.4.3.2.3.- *Por los dispositivos eléctricos que tenga el vehículo.*

23.4.3.3.- *Otros orígenes accidentales:*

23.4.4.- Objetivos de la inspección ocular por incendio.

23.4.5.- Procedimiento del investigador de los incendios de vehículos.

### **23.5.- QUÉ HACER EN CASO DE INCENDIO EN UN VEHÍCULO MIENTRAS CIRCULA.**

23.4.5.1.- *Inspección del circuito del combustible.*

23.4.5.2.- *Inspección del circuito eléctrico.*

### **23.6.- OTRAS CONSIDERACIONES.**

## **TEMA XXIII**

**TÍTULO: EL INCENDIO Y EL ACCIDENTE DE TRÁFICO.**

**B.- DESARROLLO:**



**23.1.- TIPOLOGÍA DEL ACCIDENTE DE TRÁFICO.** Dentro de la clasificación de los accidentes de tráfico seguida en el Libro de la Academia de Tráfico de la Guardia Civil “*INVESTIGACIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁFICO*”, y fundamentada en la Orden de 18 de febrero de 1993, del Ministerio de Relaciones con las Cortes y de Secretaría del Gobierno, se recogen los *incendios*, dentro del apartado de *Accidentes con Características Especiales*, es decir, de aquellos que no se pueden encasillar en ninguno de los apartados más característicos y conocidos.

De lo anterior se colige que determinado tipo de accidente, reuniendo las circunstancias requeridas en la citada Orden Ministerial, es decir, *producirse o tener su origen* en una de las vías o terrenos objeto de la legislación sobre tráfico, circulación de vehículos a motor y seguridad vial; *resultar a consecuencia de los mismos*, una o varias personas muertas o heridas, o sólo daños materiales, y por último, *estar implicado al menos* un vehículo en movimiento, consiste en *el incendio de un vehículo*, por lo que *la causa* será la causa u origen del incendio producido y la consecuencia la calcinación de todo o parte del mismo, así como la posibilidad de que a consecuencia de ello resulte alguna persona lesionada. El hecho de que el incendio sea la causa del accidente, lo singulariza frente a aquellos otros que, v. gr.: a consecuencia de un accidente de tráfico, se produce como efecto el incendio del vehículo. Luego hay que distinguir claramente los siguientes hechos:

- 1.- *Accidente por incendio.*
- 2.- *Incendio por accidente.*

**23.2.- ACCIDENTE POR INCENDIO.** El tipo de accidente en el que *la causa* u origen del mismo está constituido por el incendio previo del vehículo. Como consecuencia del incendio de un vehículo se pueden originar, además del hecho singular del *accidente consistente en el incendio de un vehículo*, diversas circunstancias que pueden conducir a la ocurrencia de un accidente que sin dejar de tener la causa en el incendio previo, puede adoptar la forma o tipología de otros, comportamientos o circunstancias, como:

- a.- *Distracción* del conductor, provocada por la aparición de humo o incluso llamas.
- b.- Que el mismo humo afecte a la *visibilidad* del conductor.
- c.- Disfunciones o *funcionamiento anormal de algún órgano del vehículo*.
- d.- Otro tipo de circunstancias.

**23.3.- INCENDIO POR ACCIDENTE.** El Incendio como consecuencia o efecto de accidente previo, suele representar el mayor porcentaje de la casuística y como tal decae el interés desde el punto de vista de la averiguación de la causa del accidente (salvo que se halla intentado ocultar con el incendio posterior, la posible manipulación de algún órgano del vehículo que condujere a la producción del accidente) y aumenta el interés desde el punto de vista de las consecuencias para los usuarios (interés de los mismos usuarios –asociaciones de usuarios y consumidores-, de las compañías de seguros y de los fabricantes de vehículos), sobre todo en lo que a condiciones de seguridad pasiva de los vehículos se refiere.

#### **23.4.- LA INSPECCIÓN OCULAR EN INCENDIOS DE VEHÍCULOS.**

**23.4.1.- CONCEPTOS GENERALES SOBRE EL FUEGO.** *El fuego* es el efecto de la combustión. *La combustión* es una reacción química, exotérmica de oxidación, en la que





intervienen siempre tres elementos: *combustible*, *comburente* (oxígeno) y *energía de activación* (calor). Estos tres elementos constituyen el *triángulo del fuego*, y han de darse en las proporciones adecuadas. Lo que arde es la parte del combustible vaporizada por el calor, no la parte sólida o líquida del mismo.

*El tetraedro del fuego* está formado por los tres elementos anteriores más *la reacción en cadena*, que es la facilidad que tienen las moléculas de transmitirse el calor unas a otras y, por extensión, unos combustibles a otros.

La combustión emite como resultado cuatro productos: *humo*, *llamas*, *gases* y *calor*. *El calor* puede transmitirse *por contacto directo* a través de un sólido conductor; *por convección*, mediante el aire en movimiento; *por radiación*, a través de ondas electromagnéticas. El fuego puede propagarse en sentido vertical, ascendente o descendente, u horizontalmente cuando no exista una vía ascendente.

Los mecanismos de extinción del fuego son:

- a.- *Enfriamiento o eliminación del calor* para reducir la temperatura del combustible.
- b.- *Sofocación*, reduciendo el porcentaje de oxígeno.
- c.- *Desalimentación*, mediante la retirada del combustible y rotura de la reacción en cadena, impidiendo la transmisión del calor de unas moléculas a otras, mediante el empleo de determinados compuestos químicos.

23.4.2.- INTRODUCCIÓN A LA INSPECCIÓN OCULAR POR INCENDIOS. Los fallos mecánicos estructurales, causas de fuegos accidentales y frecuentemente con víctimas mortales, permanecen impunes debido a que los vehículos involucrados no se examinaron en detalle. Los incendios de vehículos se pueden investigar con igual eficacia que los de edificios. Los principios son los mismos para ambos tipos.

*El incendio de un automóvil de manera accidental, es poco frecuente*, la mayor parte son provocados y ello se deduce con el siguiente argumento:

- Ocurren pocos incendios accidentales en los coches de servicio público, ambulancias, taxi, oficiales, etc.
- En los vehículos conducidos por mujeres, de cada 100 incendios denunciados, del 0,5 al 1% les ocurre a las mujeres, el resto a los hombres.
- Hay pocas denuncias formuladas por las casas de alquiler de vehículos.
- La gran parte de las denuncias por incendio se producen cuando el vehículo está en régimen de financiación, o bien que el propietario no está a gusto con el coche. En este caso siempre están provistos de seguro contra incendios.

Razón objetiva: cuanto mejor se hace una investigación de incendios, más se averiguan como provocados.

23.4.3.- PORQUÉ ARDE EL VEHÍCULO. Con respecto a lo hasta aquí dicho, nos podemos formular la siguiente pregunta: *¿porqué es difícil que arda un vehículo?*, y la confirmación de esta pregunta, nos viene dada por *cuatro motivos*:

- Porque la proporción entre combustible y las sustancias no combustibles es superior la no combustible (mucho hierro, chapa, etc.)
- La materia combustible está normalmente en el habitáculo del coche, aislada o separada de las causas que podrían provocar el incendio.



- El propio diseño de los vehículos está concebido para que se origine la combustión de la gasolina sin riesgo para el habitáculo, siendo el diseño una especie de “circuito cerrado”, como ocurre con el circuito de la gasolina y el de los gases que salen al exterior por el tubo de escape.
- Existe una cierta dificultad de ignición en los neumáticos y en los órganos del motor. Los neumáticos sufren la acción del calor, pero la temperatura de ignición es superior a la que padece con un frenazo, por ejemplo. El motor, igualmente soporta altas temperaturas. En el interior se puede producir un incendio por influencia eléctrica.

Sin embargo, un vehículo puede arder accidentalmente por *dos causas*:

1. *Circuito de gasolina*:
    - Depósito.
    - Carburador/filtro.
    - Conducción.
  2. *Instalación eléctrica*:
    - Batería.
    - Fusibles. )
    - Interruptores ) Dispositivos.
- Cables.

#### 23.4.3.1.- *Circuito de gasolina.*

23.4.3.1.1.- *Depósito de gasolina.* Si es posible, debe medirse la cantidad de combustible en el depósito. Si éste estuviese completamente vacío, el vehículo podría haber sido remolcado hasta el lugar; puede haberse quedado sin gasolina y posteriormente arder mientras estuvo abandonado o la gasolina se ha drenado del tanque para utilizarla como *acelerante*. Debe verificarse el depósito en busca de indicios de que el combustible se ha vaciado.

Un tanque que tenga cierta cantidad de gasolina, está formado por:

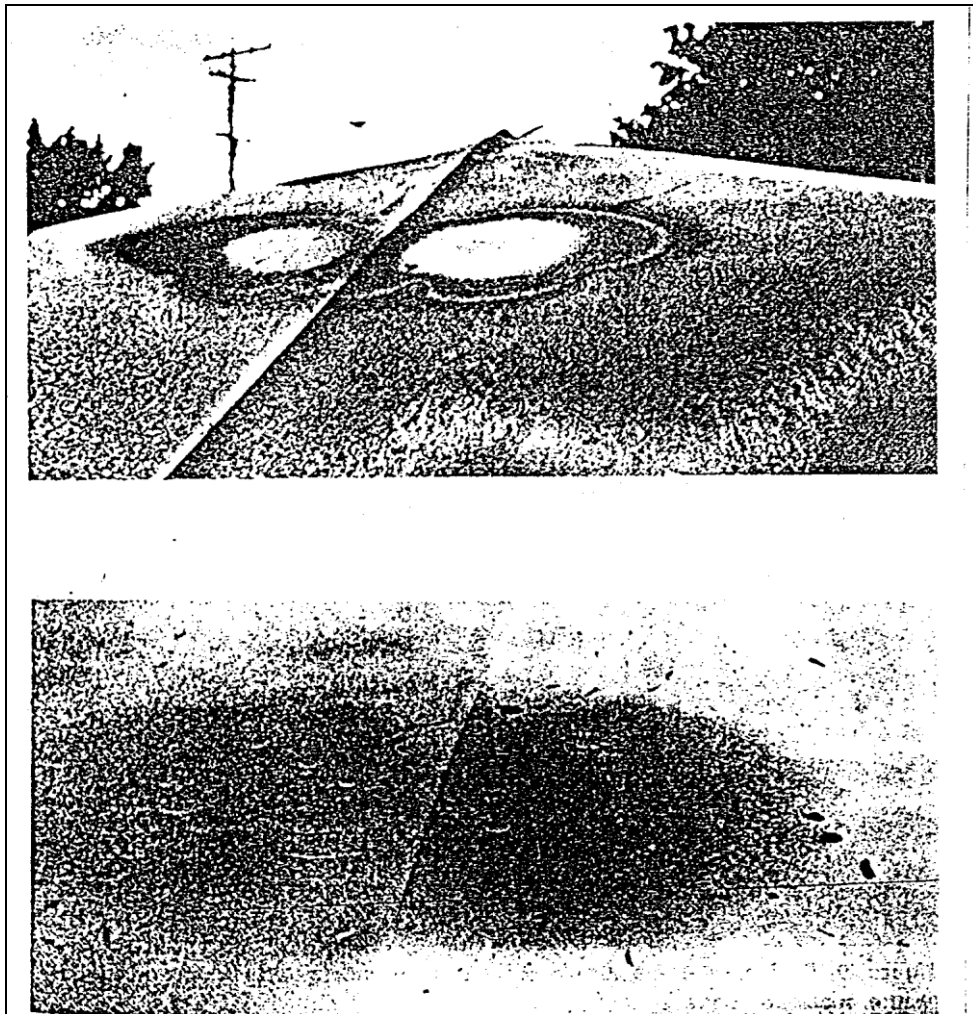
- *Gasolina líquida.*
- *Gases en la cámara en forma de vapor*, muy por encima del *rango explosivo*. Estos vapores son mucho más pesados que el aire, por lo que están en la cámara baja (si se tira una cerilla encendida dentro, no arde).

Para que arda un tanque de gasolina, *debe estar prácticamente vacío*, sobre la reserva o menos de la reserva, ya que si tiene mucha gasolina, la mezcla de ésta con el aire es muy saturada, circunstancia por la que, como se apunta con anterioridad, supera el rango explosivo.

#### 23.4.3.1.2.- *El colector.*

Es el lugar donde más alta temperatura se puede alcanzar en los vehículos, llegando incluso hasta los 1.000° C., por lo que es importante preguntar los *kilómetros que ha recorrido*, así como inspeccionar los diferentes tubos de conducción próximos ante una posible pérdida de gasolina.

23.4.3.1.3.- *El carburador.* Es el punto de origen más probable en un fuego que se desencadene por encima del motor. En la mayoría de los casos, el fuego no destruirá el carburador. En vez de ello, la combustión tendrá lugar por encima del carburador; las señales de fuego mostrarán la incidencia de las llamas en la parte interior del capó.



*Figura 56.*

*Un capó cerrado muestra daños por el calor justo encima de la posición del fuego en el compartimento motor.*

Un fuego que se origine al nivel del motor o por debajo de él, dejará señales en los manguitos del radiador, correas del ventilador y soportes elásticos de sujeción del motor al chasis. El fuego también consumirá los restos de grasa que haya en el compartimento. Si estas señales indican que se propagó desde abajo, quizás se haya originado utilizando un *acelerante en el terreno*.

**23.4.3.2.- La electricidad del automóvil como consecuencia del incendio.** Las causas de los incendios eléctricos en los vehículos, pueden ser:

**23.4.3.2.1.- Por la batería:** La corriente en los vehículos es de bajo voltaje, exceptuando en la salida de la batería; saltan pocas chispas. La batería puede ocasionar un incendio:

- Cargándola, ya que la carga desprende hidrógeno.
- Por un polo suelto y haga contacto, provocando chispas.

**23.4.3.2.2.- Por los cables:** Salvo a la salida de la batería, en el resto del recorrido no son riesgo de incendio, salvo el *cortocircuito* que debe radicar cerca de materias combustibles.



23.4.3.2.3.- **Por los dispositivos eléctricos que tenga el vehículo:** Estos dispositivos pueden ser las cajas de conexiones, interruptores, etc.

23.4.3.3.- **Otros orígenes accidentales:**

- Trapos manchados de aceite olvidados en el motor (siempre se localizarán en el motor, habrá poco fuego, se apaga pronto).
- Bloqueo de la transmisión en marcha (aumenta la temperatura, funde el conducto de la gasolina y se incendia).
- Aunque rara vez, los neumáticos pinchados o reventados, aumentan su temperatura y se pueden incendiar.
- Cualquier tipo de bloqueo en poleas, engranajes u otros órganos del motor.

En cualquier caso, para la revisión de los órganos del motor es necesaria la ayuda de un técnico, que será el encargado del desmonte de las piezas y así poder afirmar nuestras conjeturas.

23.4.4.- **OBJETIVOS DE LA INSPECCIÓN OCULAR POR INCENDIO.** En las inspecciones oculares por incendios, se persiguen cuatro objetivos:

- a.- Encontrar *el punto o foco de origen*.
- b.- Hallar *la fuente de energía de activación*.
- c.- Determinar *la causa*.
- d.- Establecer *la categoría del incendio* (natural, provocado, accidental).

La práctica de la inspección ocular nos llevará a la observación de los *horizontes de humo y los conos de calor* en aquellos puntos donde se aprecien los efectos destructivos de mayor intensidad.

En ellos o en sus inmediaciones se buscarán focos primarios, prestando especial atención a todos aquellos elementos que se encuentren en el lugar y puedan constituir la fuente productora del calor.

*El cono del calor* presenta una característica especial en forma de “V”, cuyo vértice indica el punto de origen. Hay que determinar la propagación (recorrido) del fuego, a través de las marcas de fuego que presenten los objetos.

Si bien hasta ahora todo lo dicho con respecto al fuego es en sentido general dentro de la inspección ocular, en su aplicación al caso concreto del incendio de vehículos hay que tener en cuenta que la gasolina es un *acelerante* de la expansión del calor y que habrá que examinar cuidadosamente la instalación eléctrica teniendo en cuenta que:

- a.- Cuando el incendio es provocado por un cortocircuito, el cable queda suelto y se desliza fácilmente dentro de la cubierta aislante.
- b.- Cuando el fuego ataca desde el exterior, este queda firmemente adherido a la cubierta plástica.

En ambos casos se pueden apreciar bolitas de cobre fundidas al hilo conductor.

23.4.5.- **PROCEDIMIENTO DEL INVESTIGADOR DE LOS INCENDIOS DE VEHÍCULOS.** Hay que tener en cuenta una serie de consideraciones:



- Casi nunca es incendio accidental si aparece totalmente destruido.
- No siempre el incendiar un vehículo es delito, por lo tanto no se debe comenzar la investigación muy aprisa (sin haber presentado la correspondiente denuncia).
- Cuanto menos importante, más fácil es de investigar.
- Rápida actuación de presentación en el lugar (tan pronto haya sido denunciado).

*Hay que anotar la hora de aviso y de inicio del incendio por dos razones:*

- Por la propia coartada que pueda presentar.
- Por la duración del incendio (si es menor de 15 minutos, puede ser fortuito, si por el contrario dura más, posiblemente sea provocado).

Hay que entrevistarse con el conductor y fijarse en las reacciones, si tiene algún tipo de intoxicación (etflica, drogas), y si tiene o no quemaduras; si tiene quemados los pelos de las manos (dorso) es un buen indicio. Antes de remover o tocar nada, hay que hacer la inspección ocular, así como un estudio del lugar alejado del vehículo.

*En el entorno puede haber detalles dignos de recoger, por lo que hay que fijarse:*

- En las pisadas de los alrededores.
- En las huellas de neumáticos en el entorno.
- Se fotografiarán las huellas y se sacarán moldes.

*En cuanto a las huellas de neumáticos en el entorno, hay que tener en cuenta:*

- Puede indicar la existencia de un segundo vehículo implicado.
- Si no concuerda, pudo haberlos cambiado por otros.
- Pueden existir señales de llantas; si esta señal es continua, da lugar a pensar que le quitaron los neumáticos; si no es continua, pudo haber sido un pinchazo.
- Señales anormales de frenado dejadas por las ruedas; si estas señales son muy bruscas, pudo ser debido a un bloqueo de la dirección.

En el lugar donde aparece el vehículo, hay que tratar de localizar en el suelo las sustancias de los *acelerantes de la combustión*, por lo que hay que tener en cuenta:

- Su localización )
- Su identidad ) según el tipo de incendio.

*Estas sustancias pueden ser:*

- *De aceite*, que puede presentarse como pulverizada (coincidiendo con las posibles manifestaciones del propietario -si notó que le iba pegando tirones el vehículo-).
- *De gasolina*. Hay que buscar el macarrón roto. Las manchas aparecen en las inmediaciones del vehículo.

Si el incendio ha sido ocasionado por un novato, aparecerá gasolina por el motor, suelo y ruedas, por lo tanto la primera investigación irá por los exteriores del vehículo pero sin remover nada, como a medio metro de éste. Si ha ardido la gasolina, habrá un cambio de





color en el asfalto o prado. Con los reactivos DRAGER se puede detectar si en una determinada sustancia existe gasolina o no.

Hasta este punto son observaciones en la capa superficial. Si es un terreno con arena, hay que hacer un *raspado superficial*, como de medio centímetro, y a esa profundidad aparecerá aunque no se aprecie a simple vista. La tierra que se está removiendo, se puede ir guardando en bolsas de plástico para hacer la prueba con los tubos de *hidrocarburos* (Dräger). En el reconocimiento que se efectúe, hay que realizar un examen interno combinado con un examen externo (cristales rotos, llaves de contacto puestas, tapón de la gasolina quitado, etc.)

*Tenemos que preguntarnos:*

- ¿Existen daños en la carrocería por colisión?
- ¿Faltan piezas esenciales en el vehículo?
- Hay que fijarse en los tornillos de las ruedas.
- Si conservan los espejos retrovisores.
- La falta de accesorios u objetos de interés.
- Las ventanas y puertas si están abiertas o cerradas.
- Comprobar el horizonte de humo y de calor.
- Mirar la pintura del coche

*Para valorar la intensidad del calor pueden servir una serie de detalles tales como:*

- Cristales rotos.
- Muelles destemplados.
- Deformación de la carrocería.
- Fusión de metales blancos (calamina).

Los incendios eléctricos tardan mucho en propagarse y el calor que desprenden es pequeño. En Invierno suelen ocurrir más explosiones en los depósitos de gasolina que en verano, debido a que hay menos rango explosivo dentro y la temperatura externa es más baja.

**23.4.5.1.- Inspección del circuito del combustible.** En cuanto al combustible, interesa:

- Si está roto el circuito y la forma de rotura.
- La conducción del *acelerante* si está íntegro o no.
- Si tiene horizonte de fuego el carburador o si está roto.
- El filtro del aceite, condiciones en que se encuentra.

**23.4.5.2.- Inspección del circuito eléctrico.** En cuanto al circuito eléctrico, interesa:

- La batería:
  - *conectada*: si estaba descargada (en un cortocircuito, la batería queda descargada).
  - *desconectada*: no pensar en origen eléctrico.
- Las cajas de distribución eléctrica.
- Cuadro de fusibles (fundido o no, si es original o ha colocado alguno de más potencia y al no fundir se produciría el cortocircuito).

**23.5.- QUÉ HACER EN CASO DE INCENDIO EN UN VEHÍCULO MIENTRAS CIRCULA.** Los vehículos no explotan como en las películas, sino que se produce una



inflamación del combustible. Si se tiene serenidad, generalmente da tiempo a dominar cualquier conato de incendio. El extintor debe ser de 4 o más kilogramos y debe recargarlo todos los años.

*Si su propio vehículo desprende humo, siga los pasos siguientes:*

- a.- Estacione sin estorbar, quite el contacto y desbloquee el capó motor.
- b.- Agite el extintor, quite el precinto y haga una pequeña prueba de funcionamiento.
- c.- Si sale humo del capó, ábralo con cuidado unos centímetros y dirija el chorro del extintor hacia el interior.

*Si arde un vehículo ajeno con ocupantes dentro:*

- a.- Si las puertas están bloqueadas, rompa los cristales con un objeto contundente (puede servir el propio extintor) y ayude a salir a los ocupantes.
- b.- Para apagar el fuego, colóquese de espaldas al viento y, a una distancia mínima de un metro, dirija el chorro en zig-zag hacia la base de la llama.

**23.6.- OTRAS CONSIDERACIONES.** Hay ocasiones en que una avería eléctrica no tiene necesariamente que producir el incendio de un vehículo pero sí una accidente, baste recordar que, como consecuencia de una anomalía detectada en uno de los productos de la casa Ford, en concreto del Ford Mondeo, en el año 1994 se llevó a cabo por Ford España S.A., una campaña entre los titulares de dicho modelo, consistente en la reposición totalmente gratuita del interruptor de los faros del citado vehículo, de los que mediante carta se les notificaba a éstos de la posibilidad de que dicho interruptor “pudiera sufrir una avería interna que hiciera que los faros se apaguen de pronto”; a continuación se decía que “normalmente, basta con volver a encender el interruptor para reestablecer el funcionamiento normal de los faros”, pero a todo investigador de accidentes no se le escapa el riesgo que supone, en función de la velocidad, quedarse durante unos segundos a oscuras.

Por otro lado hay que decir que desde el pasado 2 de noviembre, los ejecutivos estadounidenses de la industria del automóvil, además de preocuparse por la evolución de las ventas, los costes de las materias primas y su productividad, tendrán que estar pendientes del FBI. Ese día, el presidente Bill Clinton firmó una ley que castiga hasta con 15 años de cárcel a los directivos que oculten información sobre fallos que afecten a la seguridad de los automóviles, y eleva las multas por este delito a 15 millones de dólares (2.880 millones de pesetas). Esta normativa ha pasado ya a la historia como la *Ley Firestone*.



