

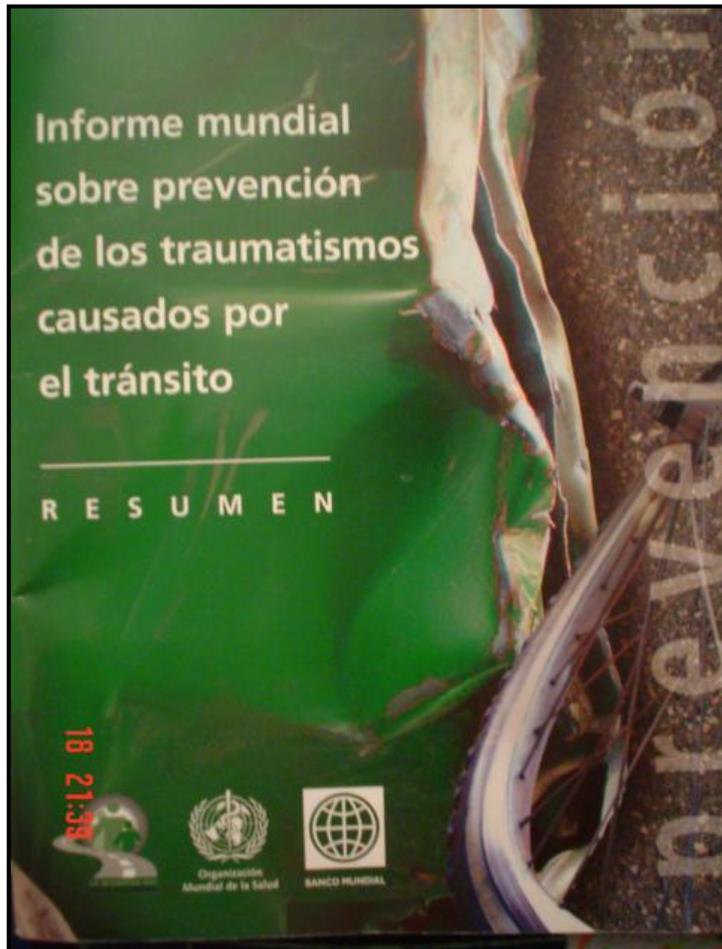
# Módulo No.7

## *RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO*

# ELEMENTOS BÁSICOS DE RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO

# RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO

La Reconstrucción de Accidentes de Tránsito R.A.T. es una disciplina que utiliza las leyes de la Física (Mecánica), herramientas de la ingeniería (Mecánica, Automotriz, Topográfica), Psicología, criminalística, las Ciencias Forenses y de la Medicina, la cual se ayuda de software especializado, con el fin de determinar con precisión la secuencia de un accidente de tránsito, sus causas y el análisis de evitabilidad.



*“Para orientar las políticas de seguridad vial se necesitan datos sobre los tipos de choques y su incidencia, así como un conocimiento detallado de las circunstancias en las que se producen. Saber cómo se provocan las lesiones y de qué tipo son un valioso instrumento para determinar intervenciones y supervisar su eficacia.*”

# OBJETIVO

**Presentar las técnicas que componen el proceso de análisis de un accidente de tránsito y su importancia en la determinación de la causa principal y secundarias, dentro del llamado enfoque forense, como herramienta jurídica y de seguridad vial.**

# **RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO**

**La Reconstrucción de Accidentes de Tránsito R.A.T. es una disciplina que utiliza las leyes de la Física (Mecánica), herramientas de la ingeniería (Mecánica, Automotriz, Topográfica), Psicología, criminalística, las Ciencias Forenses y de la Medicina, la cual se ayuda de software especializado, con el fin de determinar con precisión la secuencia de un accidente de tránsito, sus causas y el análisis de evitabilidad.**

# ANIMACIÓN – SIMULACIÓN – RECONSTRUCCIÓN - INVESTIGACIÓN

**Investigación:** Técnicas y procedimientos que permiten recolectar toda la información de un accidente de tránsito en el lugar de los hechos.

**Reconstrucción:** Procedimientos que permiten a partir de la información recolectada utilizar las leyes, técnicas y métodos de la física y determinar la secuencia de un accidente de tránsito.

# ANIMACIÓN – SIMULACIÓN – RECONSTRUCCIÓN - INVESTIGACIÓN

**Simulación:** Procedimiento técnico que permite a partir de condiciones iniciales dadas, reproducir la secuencia pos impacto en el accidente de tránsito.

**Animación:** Procedimientos informáticos que permiten mostrar en un video (secuencia a cuadros) el movimiento de los vehículos, peatones, antes, durante y después del impacto.

## ***Expertos Forenses***

En el análisis de los accidentes de tránsito trabajan otros profesionales que analizan la evidencia utilizando el conocimiento en un arte oficio o técnica, por ejemplo ingenieros expertos en automotores, médicos patólogos, químicos expertos en pinturas, etc., que emiten un documento técnico o informe pericial el cual es utilizado por el reconstructor de accidentes con el fin de plantear las hipótesis y determinar la secuencia del accidente.

## ***Reconstructor de Accidentes de Tránsito:***

El reconstructor de accidentes de tránsito es la persona con perfil técnico, que utiliza técnicas y métodos, basados en las leyes de la física y que se ayuda con software especializado, que responde a la pregunta ¿Cómo sucedió el accidente?, determina la causas del accidente y la evitabilidad del mismo, su principal herramienta son los datos suministrados por el investigador en el lugar de los hechos.

## ***Reconstructor de Accidentes de Tránsito:***

El reconstructor de accidentes es un profesional en el área de la física o ingeniería, preferiblemente mecánica, con capacitación en las técnicas de reconstrucción y en el manejo del software especializado, EDVAP, PC Crash, SINRAT, VISTA FX, RECONSTRUCTOR 98, entre otros. La categoría del reconstructor depende básicamente de la experiencia que se tenga, cantidad de accidentes reconstruidos, y de las técnicas empleadas en la reconstrucción.

## **FISICA FORENSE :**

Disciplina de las ciencias forenses que utiliza las leyes, técnicas y métodos de la física en la investigación, reconstrucción y análisis de hechos criminales (accidentes de tránsito).

## **MODELOS FISICOS**

El modelo físico es el factor más importante del método en la investigación y reconstrucción de accidentes de tránsito, su estudio y diseño es fundamental para la calidad del trabajo de investigación.

## MODELOS FISICOS

Los modelos físicos son procedimientos analíticos (fórmulas) que involucran una serie de variables y parámetros que reflejan las condiciones en las cuales se desarrolló el accidente; estos desarrollos analíticos se determinan a partir de las leyes de la mecánica clásica, biomecánica, ingeniería, patología y psicología, etc.

La utilización de estos modelos requiere un alto rigor científico que permita a partir de la utilización de la matemática y la estadística llegar a unos resultados que muestren las condiciones reales de la ocurrencia del accidente.

## MODELOS FISICOS

*El análisis de las causas de producción de un siniestro-colisión pueden ser inexactas-incorrectas y conducir a conclusiones equivocadas sobre el hecho; si el diseño del modelo físico utilizado para inferir la dinámica de los objetos-cuerpos protagonistas, no contempla la cantidad suficiente de variables que incidieron sobre el episodio.*

## MODELOS FISICOS

*El método de investigación será poco confiable si el modelo físico escogido es muy "sencillo" o no contempla los aspectos fundamentales del siniestro que estamos intentando resolver, lo que equivale a no considerar un conjunto importante de variables que influyen sobre la mecánica de los objetos. Decimos entonces que el modelo físico empleado es "muy simplificado", o que el investigador a "simplificado mucho" el análisis del siniestro para resolverlo.*

## DESARROLLO

En el mundo existen instituciones que realizan I+D en temas relacionados con los accidentes de tránsito:

**SAE** *International*

★★★★★  
**NHTSA** National Highway Traffic Safety Administration  
[www.nhtsa.gov](http://www.nhtsa.gov)

 **CENTRO ZARAGOZA**  
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN  
SOBRE REPARACIÓN DE VEHÍCULOS, S.A.

Doctos Consultora  
analytic and graphic reconstruction of traffic accident



**IRS**  **IAL**  
Investigación forense, reconstrucción y seguridad vial

# METODOLOGIA BÁSICA DE RECONSTRUCCIÓN

- Verificar la información: Plano o croquis, fotografías, daños lesiones y testimonios.
- Realizar un plano (Escala) del lugar de los hechos con las evidencias registradas.
- Determinar la posición relativa de los vehículos al momento del impacto.
- Determinar el punto o área de colisión.
- Determinar los principales parámetros para los cálculos:
  - Ángulos de impacto o pre-colisión.
  - Ángulos de salida o pos-colisión.
  - Distancias recorridas pos-colisión.
  - Coeficientes de rozamiento pos-colisión.
  - Tiempos de reacción.

## METODOLOGIA BÁSICA DE RECONSTRUCCIÓN – CHOQUES

- Verificación de la aplicación de la ley de conservación del momento lineal.
- Verificación de la aplicación de la ley de conservación de la energía.
- Realización de cálculos y análisis de sensibilidad de resultados.
- Análisis de los resultados.
- Secuencia del accidente.
- Evitabilidad y causas del accidente.

## **INFORME TÉCNICO DE RECONSTRUCCIÓN**

Informe o documento en el cual se consigna la información general de los hechos, la vía, los vehículos, las víctimas, se realiza el análisis de la evidencia, se plantea el modelo físico a emplear, se muestran los cálculos y se presenta de una manera clara la secuencia del accidente, su evitabilidad, las causas, así como las conclusiones de la reconstrucción.

**INFORME**

**INFORME**

# CAUSA DE ACCIDENTE

**Cualquier conducta, condición o acto sin el cual el accidente no se hubiera producido.**

**Es importante diferenciar entre causa principal y secundaria: Principal es aquella que da lugar al accidente, es decir, si no esta presente no hay accidente.**

**Causa Secundaria es aquella causa que no da lugar al accidente pero ayuda a que se presente, o a que sea más grave.**

Dentro del concepto jurídico el término “ACCIDENTE”, es un acto de casualidad, de carencia de intencionalidad; pero este hecho se origina ante una CAUSAL de culpa como la **imprudencia, impericia, negligencia o violación a las normas** de tránsito por parte de alguno de los participantes llámese peatón, conductor, la vía o el vehículo.

## *Ejemplo:*

*Una camioneta se desplaza por el carril derecho de la calzada central de la avenida el dorado, a una velocidad de 100 km/h, donde la velocidad máxima es de 60 km/h, justo unos metros antes de que el vehículo pase por el frente, un peatón inicia el cruce de la calzada, y se produce el atropello antes que el conductor pueda realizar alguna maniobra.*

*En el ejemplo anterior la causa principal del accidente es por parte del peatón, iniciar un cruce de calzada sin observar, el exceso de velocidad contribuye a que las lesiones sean graves.*

# FASES DEL ACCIDENTE

El accidente de tránsito no se produce instantáneamente; se trata de una evolución que se desarrolla en el tiempo y el espacio.

-  FASE DE PERCEPCIÓN
-  FASE DE DECISIÓN
-  FASE DE CONFLICTO

# GRAFICO FASES DEL ACCIDENTE



# 1. FASE DE PERCEPCIÓN

Es la fase donde cualquiera de los participantes llámese conductor o peatón, percibe el peligro.

- PUNTO DE PERCEPCION POSIBLE

- PUNTO DE PERCEPCION REAL

## 2. FASE DE DECISIÓN

Es la reacción de la persona frente al estímulo del peligro. En esta fase podemos encontrar:

- ✓ Punto de Reacción
- ✓ Punto de Acción
- ✓ Acción Evasiva

## Punto de Reacción:

Es el sitio donde una persona voluntaria o involuntariamente responde hacia un peligro u otra situación que sea percibida. Es ahí donde se analiza el TIEMPO DE REACCION.

Durante el breve tiempo de reacción, el vehículo recorre una cierta distancia (**Distancia de reacción**) la cual se puede calcular con la siguiente formula:

$$d_r = (V/3,6) \times t_r$$

Donde:

V – velocidad del vehículo

$t_r$  – Tiempo de reacción del conductor

## Punto de Acción:

Es el sitio donde una persona pone en acción su decisión tomada de la percepción del peligro, ya sea esta acción, una maniobra de frenada o de giro, a lo que llamaremos *Acción Evasiva*.

## Acción Evasiva:

Combinación de acciones que efectúa una persona para evitar el accidente

- Maniobras de Evasión Simples Pasivas.
- Maniobras de Evasión Simples Activas.
- Maniobras de Evasión Complejas

### 3. FASE DE CONFLICTO

Es la última fase en las que se divide el Accidente de Transito y es el momento en el que se produce físicamente el accidente, distinguiéndose tres elementos:

- ✓ Área de Conflicto.
- ✓ Punto de Impacto.
- ✓ Posición Final.

## Área de Conflicto:

Es el lugar donde se desarrolla la posibilidad del accidente (*Punto sin Escape*). Lugar y tiempo en el cual el accidente no pudo ser evitado.

## Punto de Impacto :

También conocido como Punto de Conflicto, aquel donde impacta un vehículo con otro, o con un objeto fijo o atropella al peatón; como también, el lugar donde inicia el volcamiento, el cual es el primer contacto del vehículo con la superficie.

## Posición Final:

Es la posición que adoptan los participantes, vehículos y objetos implicados en el accidente luego de los puntos anteriormente descritos.

FÍSICA APLICADA  
A LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES

# DINÁMICA

La dinámica es la rama de la Mecánica que estudia el movimiento de los cuerpos, y nos dice porque estos se mueven.

FÍSICA APLICADA  
A LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES

FUERZA -  $\vec{F}$

La FUERZA es una magnitud física vectorial, responsable del cambio del estado de movimiento de los cuerpos.

# LEYES DE NEWTÓN DEL MOVIMIENTO

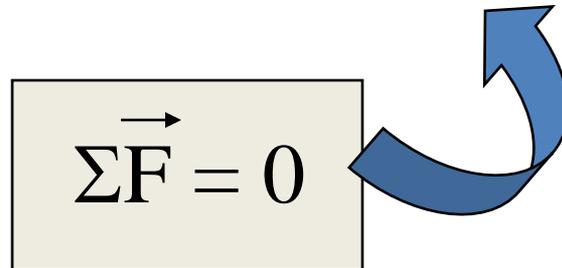
Las tres leyes de Newton son la base de la dinámica.

- 1.Ley de la Inercia.
- 2.Ley de Movimiento.
- 3.Ley de acción y reacción.

# PRIMERA LEY DE NEWTÓN

## (Ley de la Inercia)

Si la suma vectorial de las fuerzas sobre un cuerpo es cero, su movimiento no cambia: el cuerpo está en reposo o se mueve con velocidad constante



A diagram consisting of a light beige rectangular box with a thin black border. Inside the box, the mathematical expression  $\vec{\Sigma F} = 0$  is written in black. A large, thick blue arrow curves from the right side of the box, pointing upwards and to the right.

$$\vec{\Sigma F} = 0$$

# SEGUNDA LEY DE NEWTÓN

## (Ley del Movimiento)

La masa de un cuerpo describe sus propiedades inerciales. La suma vectorial de las fuerzas sobre un cuerpo es igual a la masa del cuerpo por su aceleración .

$$\Sigma \vec{F} = m \vec{a}$$

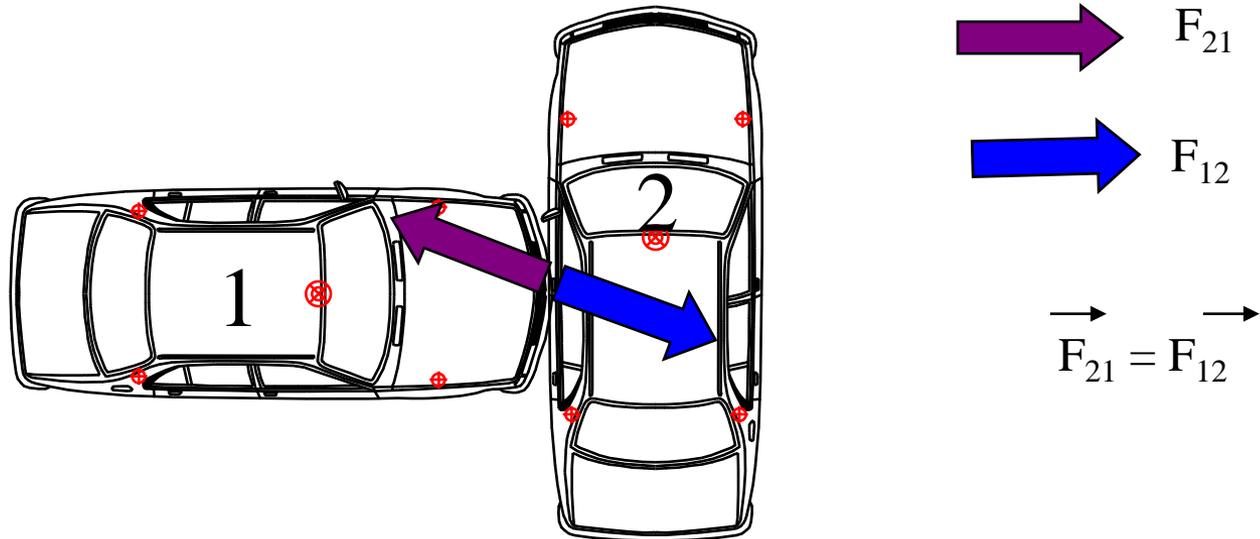
# TERCERA LEY DE NEWTÓN

## (Ley de acción y reacción)

Si dos cuerpos interaccionan, ejercen fuerzas uno sobre otro iguales en magnitud y de dirección opuesta. Cada fuerza actúa sobre el otro cuerpo.

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

# FÍSICA APLICADA A LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES



FÍSICA APLICADA  
A LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES

CLASES DE FUERZAS EN ACCIDENTES  
DE TRÁNSITO

1. Fuerza Normal
2. Fuerza del Peso
3. Fuerzas de Rozamiento
4. Fuerza elástica
5. Tensión de una cuerda

FÍSICA APLICADA  
A LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES

# Sistemas de unidades para medir

## La Fuerza

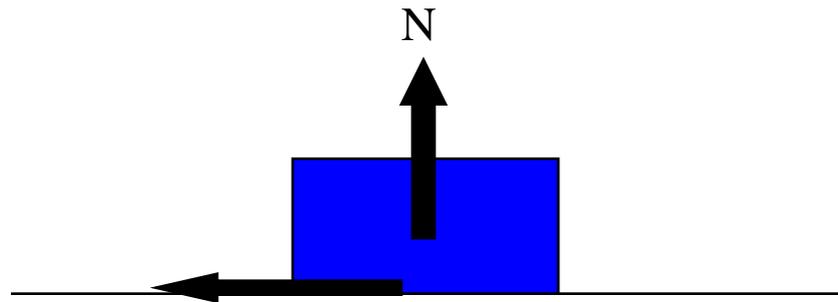
$$\Sigma F = ma$$

S.I	Newtón (N) - $1N = 1kgm/s^2$
CGS	Dina (din) - $1din = 1gcm/s^2$
Inglés	Libra(Lb) - $1lb = 1Slugft/s^2$

$$1lb = 0.4535 \text{ kgf}$$

# Fuerza Normal (N)

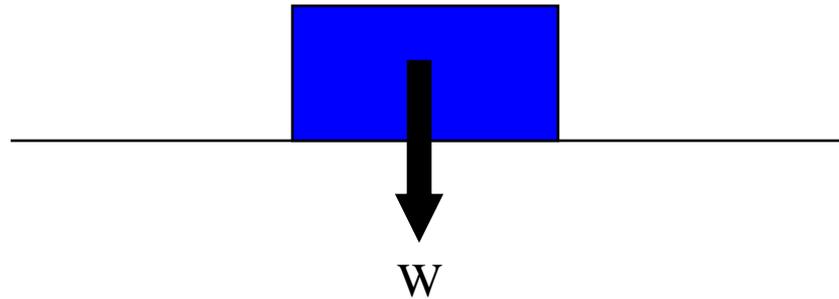
Cuando un cuerpo descansa o se desliza sobre una superficie, siempre se puede representar la fuerza de contacto ejercida por la superficie sobre el cuerpo en términos de componentes de la fuerza perpendiculares y paralelas a la superficie: La componente perpendicular es la fuerza normal (N)



FÍSICA APLICADA  
A LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES

# Peso (w)

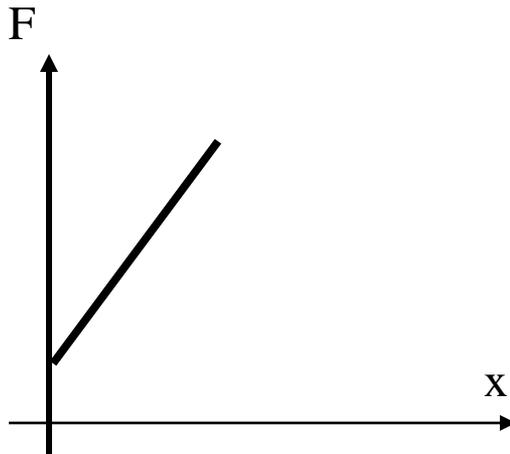
Cuando un cuerpo se encuentra sobre la superficie de la tierra, esta ejerce una fuerza sobre el cuerpo, dirigida hacia su centro, denominada peso (w), la cual le proporciona una aceleración igual a  $g$ .



$$w = mg$$

# Fuerza Elástica ( $F_s$ )

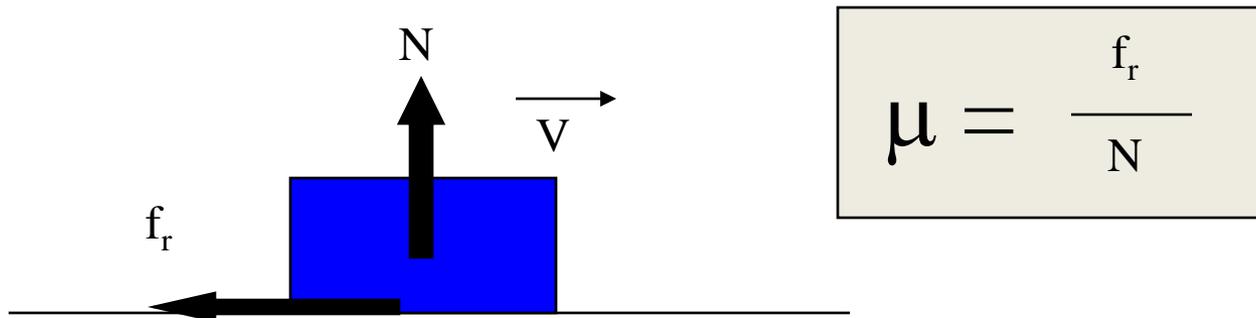
Un cuerpo sometido a una fuerza  $F$  (esfuerzo) experimenta una variación en su forma  $X$  (deformación), el cuerpo tiende a recuperar su estado inicial mediante una fuerza recuperadora  $F_s$ :



$$F_s = -kX$$

# Fuerza de Rozamiento (f)

Cuando un cuerpo descansa o se desliza sobre una superficie, siempre se puede representar la fuerza de contacto ejercida por la superficie sobre el cuerpo en términos de componentes de la fuerza perpendiculares y paralelas a la superficie: La componente paralela es la fuerza de rozamiento (f), la cual siempre se opone al movimiento.



$$\mu = \frac{f_r}{N}$$

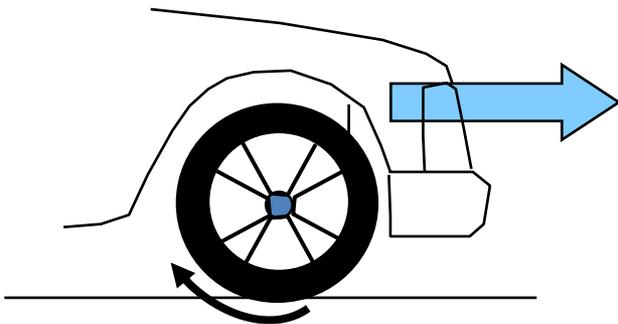
FÍSICA APLICADA  
A LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES

# Fuerza de Rozamiento (f)

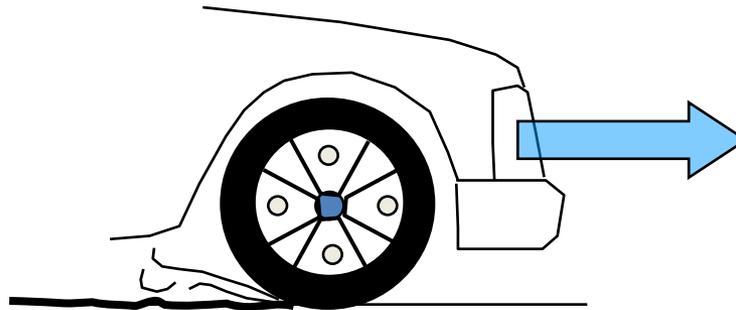
Existen tres clases de fuerzas de rozamiento:

1. Fuerza de rozamiento estático (Adherencia).
2. Fuerza de rozamiento cinético (Deslizamiento fricción).
3. Fuerza de rozamiento por rodadura.

# Fuerza de Rozamiento (f)



$$\mu_s = \frac{f_s}{N}$$



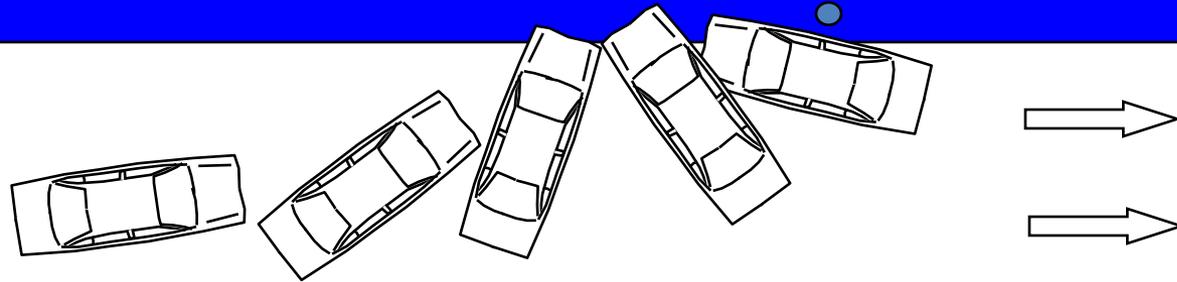
H.F.

$$\mu_k = \frac{f_k}{N}$$

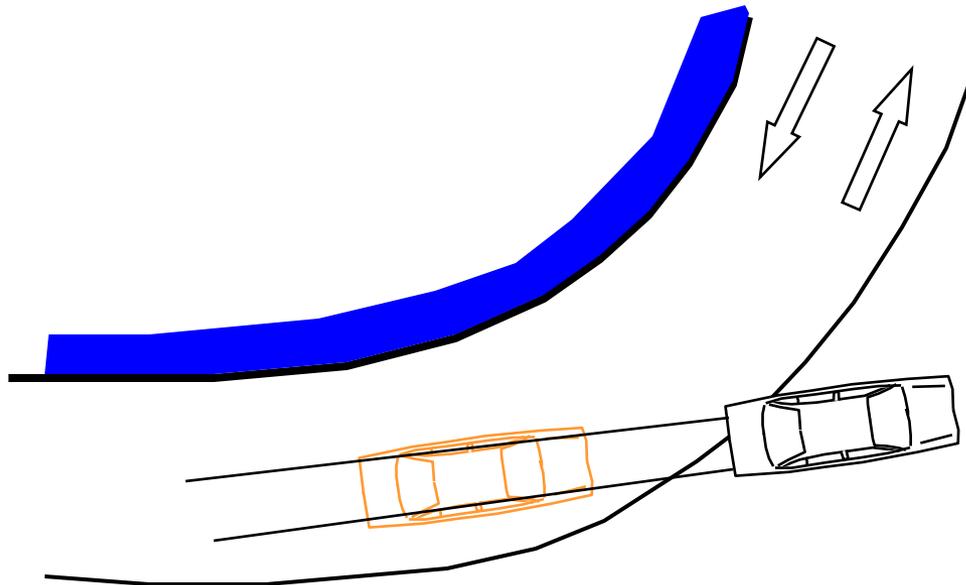
$$\mu_k < \mu_s$$

FÍSICA APLICADA  
A LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES  
Maniobras combinadas de freno y dirección

“Trompo”

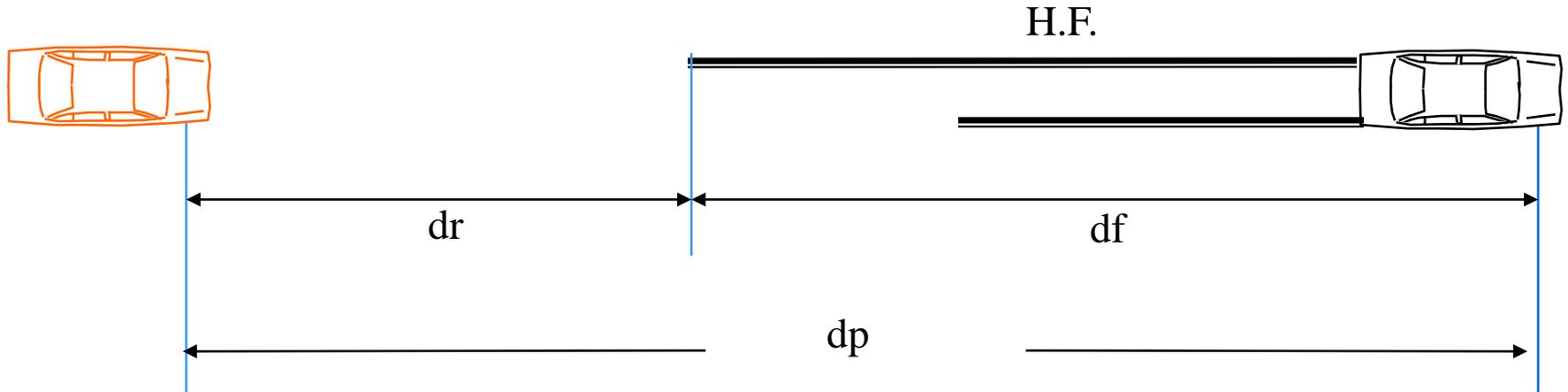


Derrape en curva



FÍSICA APLICADA  
A LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES

Proceso de parada de un vehículo



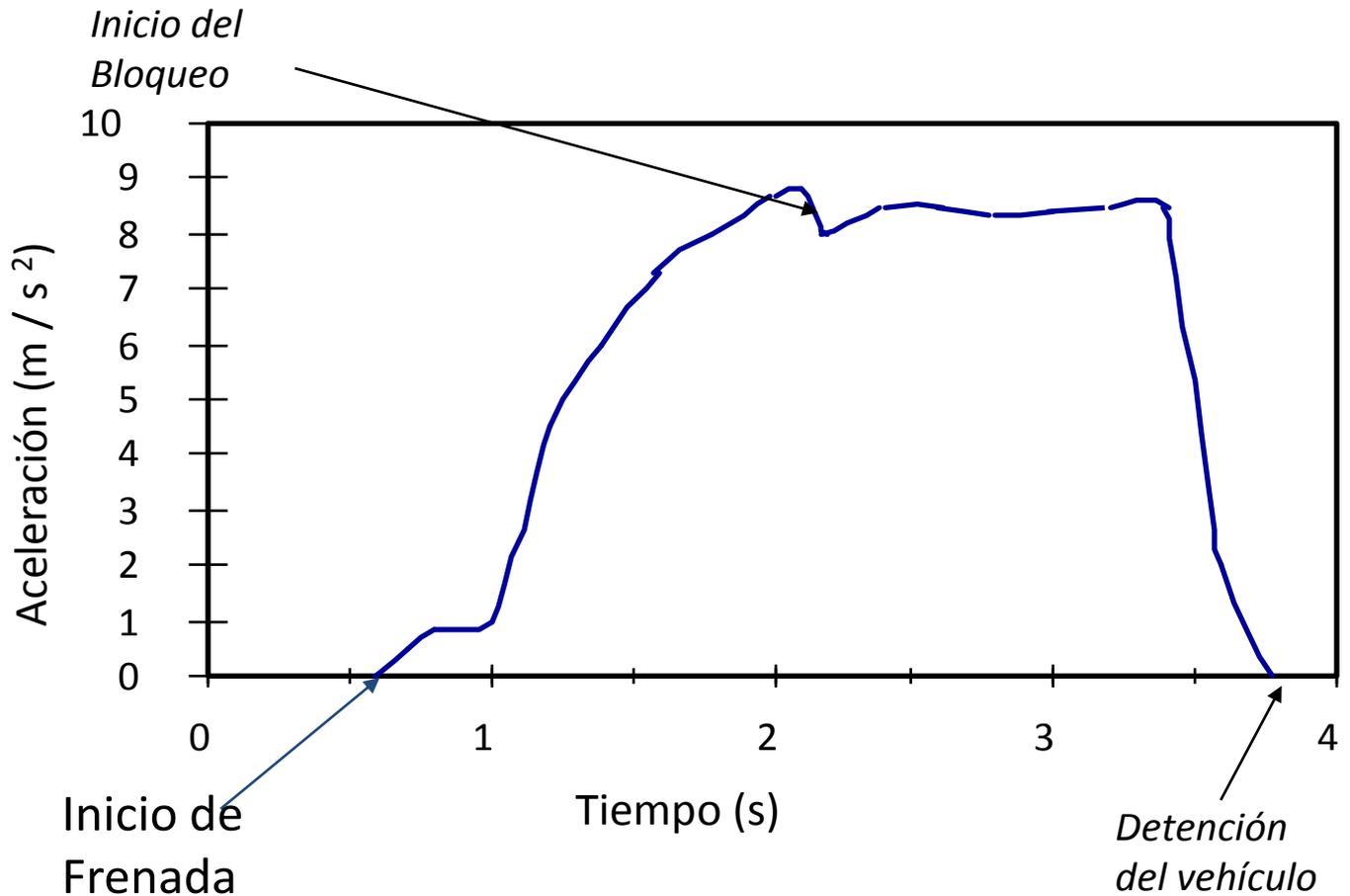
$d_r$ : distancia de reacción. Depende de la velocidad del vehículo y del tiempo de reacción del conductor ( $t_r$ ). Este tiempo puede estar entre 0,7 y 1,5 s.

$$d_r = Vt_r$$

$d_f$ : distancia de frenada. depende de la velocidad del vehículo, y del coeficiente de fricción con el piso ( $\mu$ ).

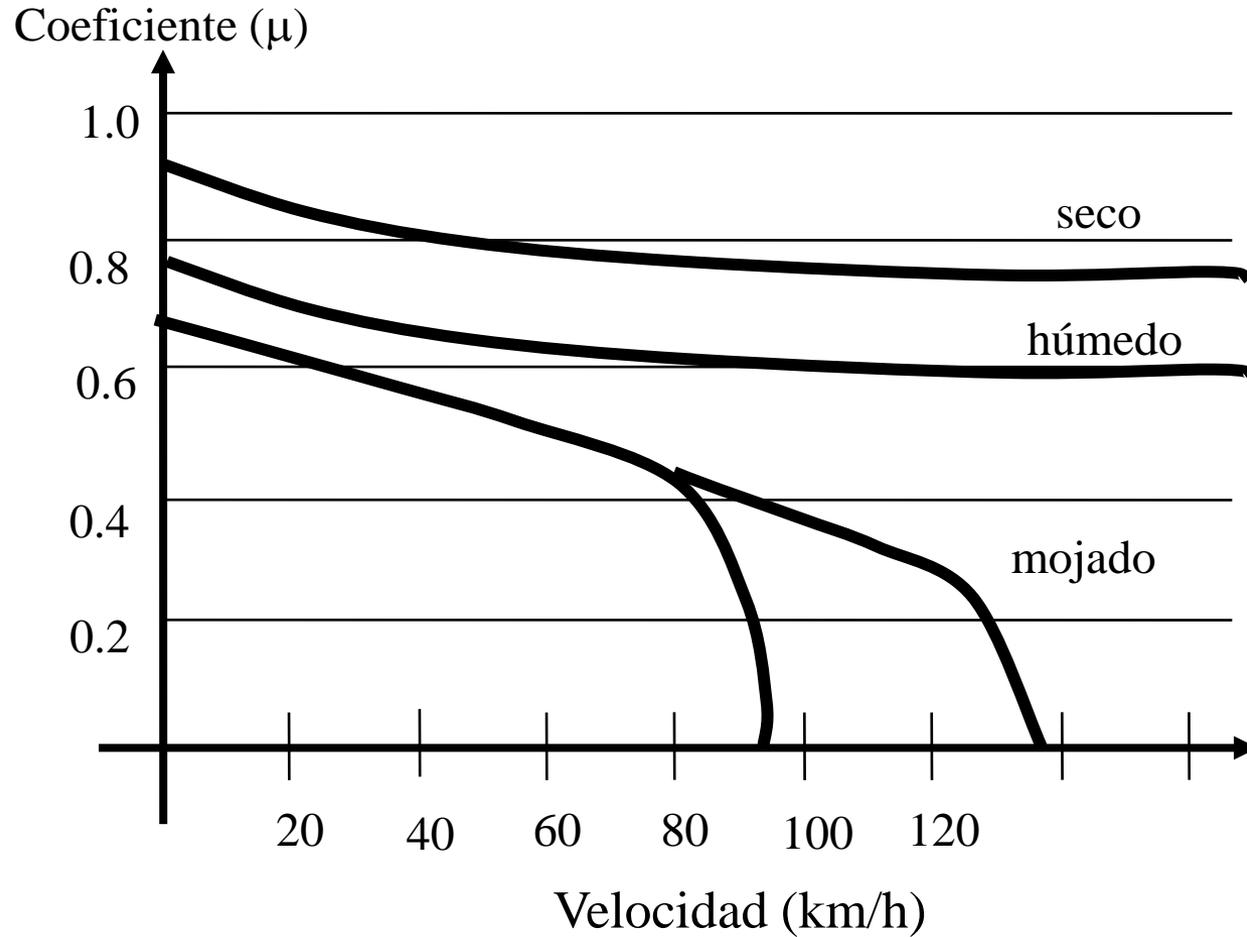
FÍSICA APLICADA  
A LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO

## FRENADA DE EMERGENCIA



FÍSICA APLICADA  
A LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES

Coeficiente de rozamiento vs velocidad



FÍSICA APLICADA  
A LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES

## COEFICIENTES DE ROZAMIENTO

	<b>Piso seco</b>	<b>Piso Húmedo</b>
<b>Asfalto</b>	0,7 - 0,8	0,5 - 0,7
<b>Pasto o Hierva</b>	0,4 - 0,5	-----
<b>Piso Fangoso</b>	0,2 - 0,4	-----
<b>Peatón</b>	0,8 - 1.0	-----

FÍSICA APLICADA  
A LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES

La velocidad que tenía el vehículo al empezar a marcar la huella de frenada se calcula por medio de la siguiente expresión:



$$f_r = ma$$

$$F_r = \mu N$$

$$N = mg$$

$$\mu mg = ma$$

$$\mu g = a$$

$$V^2 = V_0^2 - 2aX$$

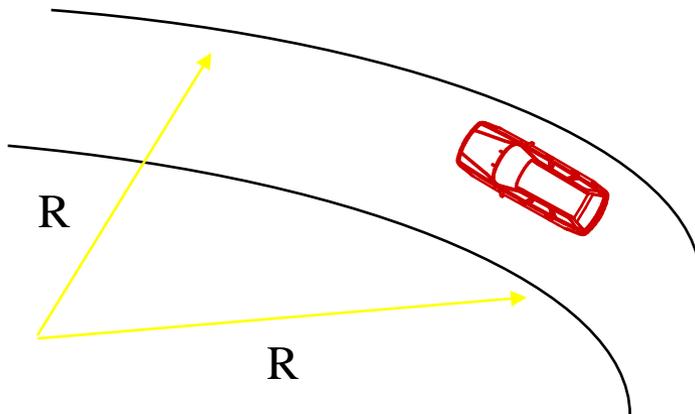


$$V_H = \sqrt{2\mu g d}$$

FÍSICA APLICADA  
A LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES

MOVIMIENTO CIRCULAR UNIFORME

Es el movimiento de un cuerpo (vehículo) en una trayectoria CIRCULAR con velocidad constante.



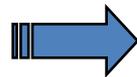
Aceleración Centrípetra

$$a_c = \frac{V^2}{R}$$

# Fuerza Centrípeta ( $F_c$ )

Cuando un cuerpo describe una trayectoria circular, esta sometido a una fuerza, dirigida hacia el centro de la trayectoria, la cual lo mantiene en la trayectoria, llamada fuerza centrípeta  $F_c$ . Esta fuerza se origina en el rozamiento entre las llantas y la carretera, y en el peralte de la vía.

$$F_c = m a_c = \frac{mV^2}{R} = f_r = \mu N = \mu mg = \frac{mV^2}{R}$$



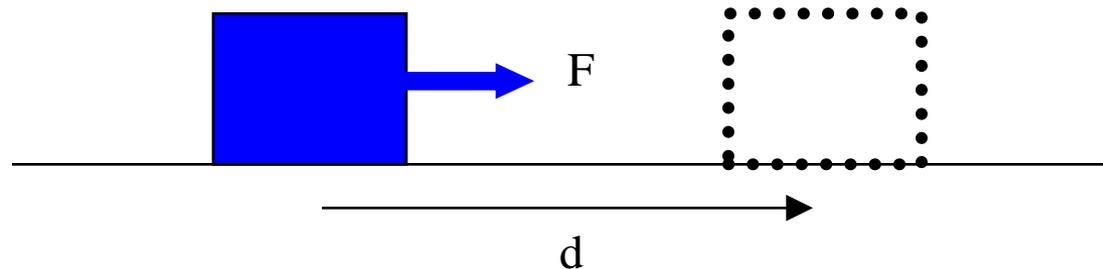
$$V = \sqrt{\mu g R}$$

FÍSICA APLICADA  
A LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES

# TRABAJO Y ENERGÍA

Trabajo (W) de una fuerza (F) muestra la capacidad de la fuerza de cambiar el estado de movimiento de un cuerpo.

$$W_F = Fd \cos\theta$$



FÍSICA APLICADA  
A LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES

# TRABAJO Y ENERGÍA

Energía (E) muestra la capacidad que tiene un objeto de realizar trabajo.

Energía Potencial  $E_p = mgh$

Energía Cinética  $E_k = (1/2)mv^2$

Energía Elástica  $E_s = (1/2)kx^2$

FÍSICA APLICADA  
A LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES

# LEY DE CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA

La energía total de un sistema antes y después de una interacción (colisión) se conserva

$$E_{Ti} = E_{Tf}$$

$$E_{Ti} = E_{pi} + E_{ki} + E_{si} = (1/2)mv_i^2 + mgh_i + (1/2)kx_i^2$$

$$E_{Tf} = E_{pf} + E_{kf} + E_{sf} = (1/2)mv_f^2 + mgh_f + (1/2)kx_f^2$$

FÍSICA APLICADA  
A LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES

# LEY DE CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA EN ACCIDENTES DE TRÁNSITO

La energía total de un sistema después de la colisión es igual a la energía total antes de la colisión MENOS la energía gastada (consumida) en daños y lesiones.

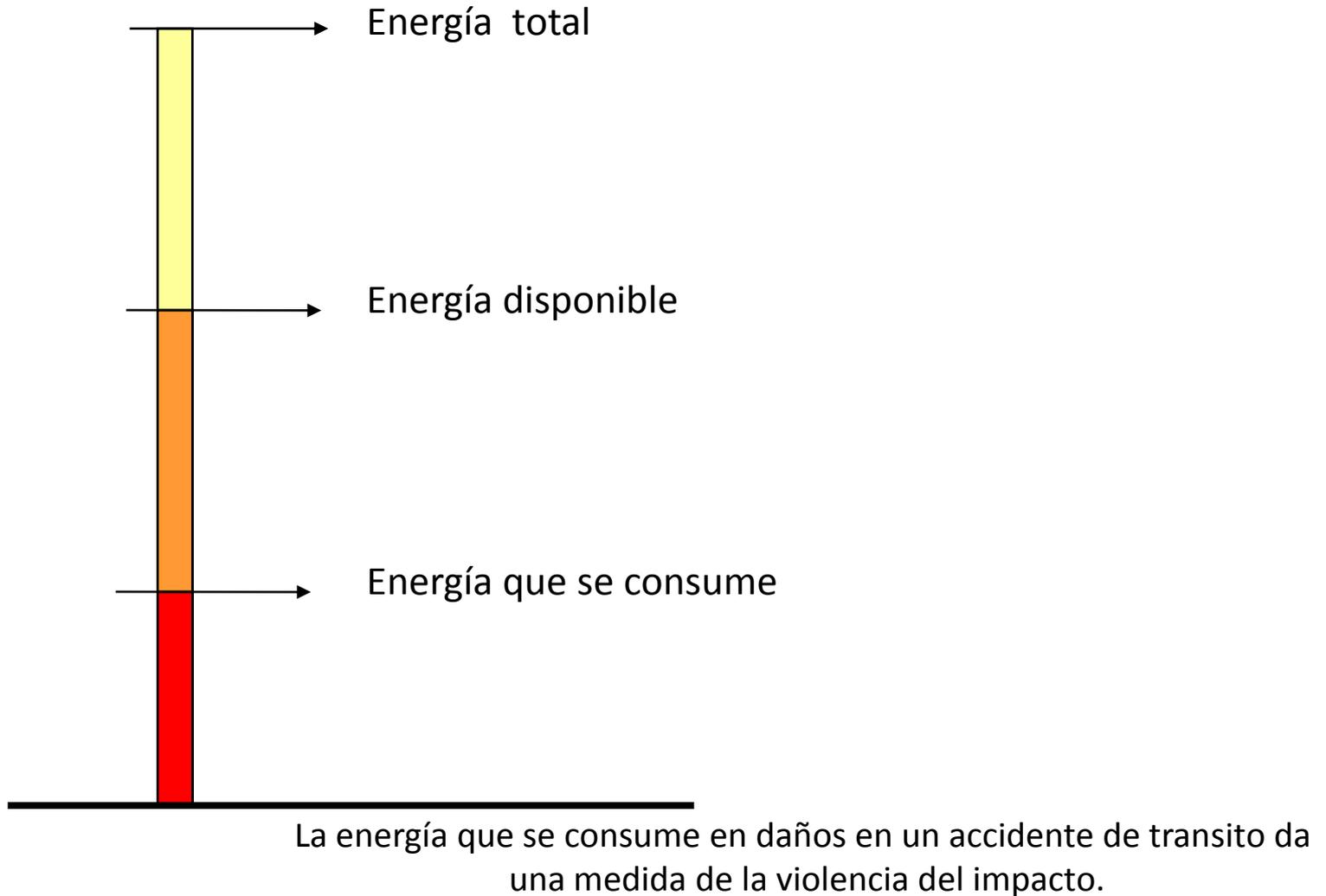
$$E_{Tf} = E_{ti} - E_{\text{Daños}}$$

Colisión Inelástica = Hay energía gastada (consumida) en daños y lesiones.

Colisión Perfectamente Inelástica = Hay energía gastada (consumida) en daños y lesiones, los cuerpos quedan juntos.

Colisión elástica = No hay energía gastada (consumida) en daños y lesiones.

## LA ENERGÍA EN UN ACIDENTE



FÍSICA APLICADA  
A LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES

## Mecanismos de disipación de Energía

La violencia de un impacto depende de la rapidez con que se transfiera la energía.

◆ Transferencia gradual

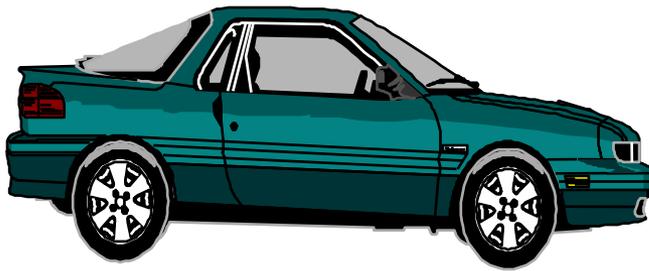
Ejemplo: durante el proceso de parada de un vehículo.

◆ Transferencia violenta

Ejemplo: en un choque violento contra un objeto rígido, o contra otro vehículo.

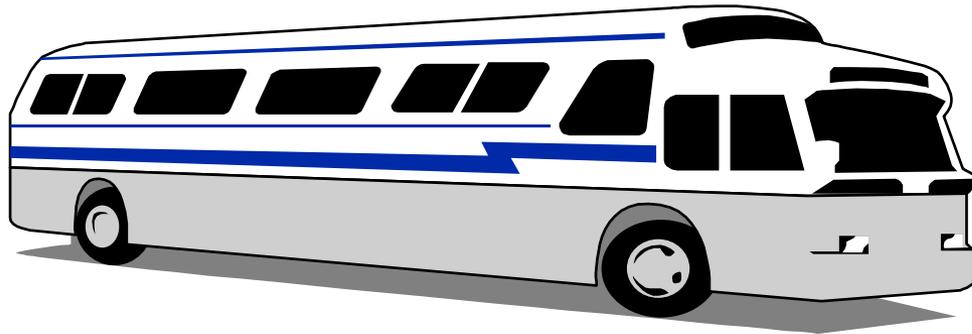
# ENERGÍA CINÉTICA

$$E_k = (1/2)mV^2$$



M = 1000 kg

V = 40 km/h



M = 9000 kg

V = 40 km/h

# CANTIDAD DE MOVIMIENTO O MOMENTO LINEAL (P)

La cantidad de movimiento o momento lineal de un cuerpo (vehículo) es una magnitud física vectorial y muestra la capacidad de interacción de un cuerpo respecto a otro.

$$\vec{P} = m\vec{V}$$

$$[P] = [m][V] = \text{kgm/s}^2, \text{ gcm/s}^2$$

FÍSICA APLICADA  
A LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES

LEY DE CONSERVACIÓN DE LA CANTIDAD DE  
MOVIMIENTO O MOMENTO LINEAL (P)

La cantidad de movimiento o momento lineal de un sistema antes de la interacción es igual a la cantidad de movimiento del sistema después de la interacción, si solo actúan fuerza internas.

$$\vec{P}_{ti} = m_1 \vec{V}_{1i} + m_2 \vec{V}_{2i}$$

$$\vec{P}_{tf} = m_1 \vec{V}_{1f} + m_2 \vec{V}_{2f}$$

$$\vec{P}_{ti} = \vec{P}_{tf}$$

$$P_{tix} = P_{tfx}$$

$$P_{tiy} = P_{tfy}$$

FÍSICA APLICADA  
A LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES

$$P_{\text{tix}} = P_{\text{tfx}}$$

$$m_1 V_{1i} \cos \alpha_{1i} + m_2 V_{2i} \cos \alpha_{2i} = m_1 V_{1f} \cos \alpha_{1f} + m_2 V_{2f} \cos \alpha_{2f}$$

$$P_{\text{tiy}} = P_{\text{tfy}}$$

$$m_1 V_{1i} \sin \alpha_{1i} + m_2 V_{2i} \sin \alpha_{2i} = m_1 V_{1f} \sin \alpha_{1f} + m_2 V_{2f} \sin \alpha_{2f}$$

$$V^2 = V_o^2 - 2aX$$



$$V_{1f} = \sqrt{2\mu g d}$$

## RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES

Usando la ley de conservación de la cantidad de movimiento se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$P_{fx} = m_1 V_{1f} \text{Cos} \theta_{1f} + m_2 V_{2f} \text{Cos} \theta_{2f}$$

$$P_{fy} = m_1 V_{1f} \text{Sen} \theta_{1f} + m_2 V_{2f} \text{Sen} \theta_{2f}$$

$$V_{1i} = \frac{P_{fy} \text{Cos} \theta_{2i} - P_{fx} \text{Sen} \theta_{2i}}{m_1 (\text{Cos} \theta_{2i} \text{Sen} \theta_{1i} - \text{Sen} \theta_{2i} \text{Cos} \theta_{1i})}$$

\*

$$V_{2i} = \frac{P_{fx} \text{Sen} \theta_{1i} - P_{fy} \text{Cos} \theta_{1i}}{m_2 (\text{Cos} \theta_{2i} \text{Sen} \theta_{1i} - \text{Sen} \theta_{2i} \text{Cos} \theta_{1i})}$$

\*\*

FÍSICA APLICADA  
A LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES

CONVENCIONES UTILIZADAS

$m_1$  – masa del vehículo No.1  
 $m_2$  – masa del vehículo No.2

$V_{1i}$  - Velocidad antes de la colisión del vehículo No.1  
 $V_{2i}$  - Velocidad antes de la colisión del vehículo No.2  
 $\alpha_{1i}$  - ángulo del vehículo No.1 antes de la colisión  
 $\alpha_{2i}$  - ángulo del vehículo No.2 antes de la colisión

$V_{1f}$  - Velocidad después de la colisión del vehículo No.1  
 $V_{2f}$  - Velocidad después de la colisión del vehículo No.2  
 $\alpha_{1f}$  - ángulo del vehículo No.1 después de la colisión  
 $\alpha_{2f}$  - ángulo del vehículo No.2 después de la colisión

## “COLISIÓN VEHÍCULO – VEHÍCULO ”

### Procedimiento:

Cuando se aborda una reconstrucción de un accidente de tránsito tipo colisión entre vehículos, se deben tener en cuenta las siguientes etapas:

- a) La información necesaria para realizar la reconstrucción es la siguiente: Informe del accidente de tránsito con su respectivo plano o croquis debidamente diligenciado, experticio técnico de los vehículos con fotografías, dictamen de lesiones, protocolo de necropsia, versiones de testigos e involucrados.
- b) Se analiza el informe de accidente del lugar de los hechos con el fin de determinar las características geométricas, físicas y ambientales y de la vía, hora de ocurrencia, clases de vehículo y edad de los involucrados.

## “COLISIÓN VEHÍCULO – VEHÍCULO”

### Procedimiento:

- c) Se analiza el croquis o plano del lugar de los hechos con el fin de determinar las evidencias físicas como huellas de frenada, de arrastre, posiciones finales de los vehículos, etc., luego se realiza un plano a escala con el fin de encontrar las distancias entre ellas.
- d) A partir de las evidencias es posible establecer el lugar donde ocurrió la colisión, la posición relativa al momento del impacto, así como la distancia recorrida por cada uno hasta la ubicación final.
- e) Teniendo en cuenta la clase de vehículo, la víctima, el estado de la vía, los daños, las lesiones, etc., se establecen los rangos para los siguientes parámetros :

## “COLISIÓN VEHÍCULO – VEHÍCULO ”

donde:

$V_{1i}$ : Velocidad del vehículo 1 un instante antes de la colisión.

$V_{2i}$ : Velocidad del vehículo 2 un instante antes de la colisión.

$m_1$ : Masa del vehículo 1:1600 Kg.

$m_2$ : Masa del vehículo 2: 1300 kg.

$\theta_{1i}$ : Ángulo del vehículo 1 un instante antes de la colisión: 0° grados.

$\theta_{2i}$ : Ángulo del vehículo 2 un instante antes de la colisión: 0° grados.

$\theta_{1f}$ : Ángulo con el cual sale el vehículo 1 desde la colisión hasta su posición final.

$\theta_{2f}$ : Ángulo con el cual sale el vehículo 2 desde la colisión hasta su posición final.

$V_{1f}$ : Velocidad del vehículo 1 un instante después de la colisión

$V_{2f}$ : Velocidad del vehículo 2 un instante después de la colisión

## Procedimiento:

### Procedimiento:

Esta es la etapa más importante del análisis, ya que la correcta definición de los parámetros determina un rango de velocidad para cada vehículo al momento del impacto  $V_i$ .

Por lo general se determina un rango de valor para cada uno de los parámetros, el cual varía de acuerdo a las condiciones especiales de cada accidente; La definición de los parámetros se abordan a continuación, y se dan los valores máximos y mínimos que generalmente se usan en la reconstrucción de accidentes, el objetivo se centra en encontrar el rango más estrecho, el cual determinaría una  $V_i$  también estrecha para cada vehículo. .

## RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES

Las velocidades finales de los vehículos ( $V_{1f}$ ,  $V_{2f}$ ) están dadas por:

$$V_{1f} = \sqrt{2gd_{1f}\mu_1}$$

$\mu_1$ : Coeficiente de rozamiento entre las llantas del vehículo 1 y el piso seco

$\mu_2$ : Coeficiente de rozamiento entre las llantas del vehículo 2 y el piso seco

$g$ : Valor de la aceleración de la gravedad:  $9,8 \text{ m/s}^2$

$d_{1f}$ : Distancia recorrida por el vehículo 1 desde el punto de colisión hasta su posición final.

$d_{2f}$ : Distancia recorrida por el vehículo 2 desde el punto de colisión hasta su posición final.

### Procedimiento:

- f) Con la fórmulas (\* y \*\*) se calcula el rango para la velocidad de cada vehículo al momento del impacto  $V_i$ .
- g) Una vez establecido el rango de velocidad  $V_i$ , se correlaciona con los daños de los vehículos y las lesiones de la víctima, con el fin de determinar si existe compatibilidad entre estos elementos, lo cual sirve de control de los resultados.
- h) En el caso en el cual no sea posible determinar el lugar donde ocurrió el impacto, se realiza una exploración de una posible área de colisión, escogida a partir de las evidencias, y con las mismas fórmulas se realiza el cálculo de la velocidad para diferentes puntos de la misma, para escoger al final un rango de velocidad para cada vehículo.
- i) El presente módulo no aborda la reconstrucción de accidentes utilizando la técnica de daños o normalmente llamada EES, a partir de la Ley de la conservación de la energía, la cual combinada con la ley de conservación de la cantidad de movimiento da buenos resultados.

# FÓRMULAS BÁSICAS UTILIZADAS EN RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES

DISTANCIA QUE REQUIERE UN VEHÍCULO PARA DETENERSE Y QUE SE DESPLAZA A UNA VELOCIDAD  $V_V$

$$D_T = \frac{V_V^2}{2\mu g} + t_r V_V$$

$D_T$  = Distancia total recorrida.

$V_V$  = Velocidad del vehículo. .

$t_r$  = tiempo de reacción de una persona atenta. .

$\mu$  - Coeficiente de rozamiento entre las llantas del vehículo y el piso, se estimó entre 0,6 y 0,8.

**VELOCIDAD DEL VEHÍCULO DE ACUERDO A LA LONGITUD DE LA HUELLA DE FRENADA.**

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

donde:

- V:** Velocidad del vehículo en el instante de comenzar a marcar la huella de frenada.  
 **$\mu$ :** Coeficiente de rozamiento efectivo entre las llantas y el asfalto seco: Máximo (0,8) Mínimo (0,7)  
**g:** Valor de la aceleración de la gravedad: 9,8 m/s<sup>2</sup>  
**d:** Longitud de la huella de frenada del vehículo FORD.

VELOCIDAD DEL VEHÍCULO DE ACUERDO A LA LONGITUD DE LA HUELLA DE FRENADA EN PENDIENTE.

$$V = 3,6\sqrt{2gd(\mu \cos \theta \pm \text{sen } \theta)}$$

donde:

- V: Velocidad del vehículo en el instante de comenzar a marcar la huella de frenada.
- $\mu$ : Coeficiente de rozamiento efectivo entre las llantas y el asfalto seco: Máximo (0,8) Mínimo (0,7)
- g: Valor de la aceleración de la gravedad: 9,8 m/s<sup>2</sup>
- d: Longitud de la huella de frenada del vehículo.
- $\theta$ : Pendiente de la vía, subiendo y - bajando

**VELOCIDAD DEL VEHÍCULO No.2 DE ACUERDO A LA DISTANCIA RECORRIDA Y A LA DESACELERACIÓN EFECTIVA**

$$V = \sqrt{2\mu_{ef}gd_t}$$

**donde:**

- V:** Velocidad del vehículo.  
 **$\mu$ :** Coeficiente de rozamiento efectivo: Máximo (0,8) Mínimo (0,4)  
**g:** Valor de la aceleración de la gravedad: 9,8 m/s<sup>2</sup>  
**d<sub>t</sub>:** Distancia total recorrida  $\approx$  22 metros.

## FORMULAS BÁSICAS EN RECONSTRUCCIÓN

VELOCIDAD DEL VEHÍCULO DE ACUERDO A LA DISTANCIA RECORRIDA Y A SU ACCELERACION :

$$V = 3,6\sqrt{2ad}$$

$$\frac{V^2}{2a} = d$$

donde:

- V: Velocidad final del vehículo.  
a: Valor de la aceleración del vehículo: 2,5 m/s<sup>2</sup>  
d: Distancia recorrida por el vehículo, (d = 19 m).

**TIEMPO QUE TARDA EL PEATÓN EN RECORRER UNA DISTANCIA DETERMINADA**

$$t = \frac{d}{v}$$

**donde:**

**v:** Velocidad del peatón al cruzar la vía.

**t:** Tiempo que tarda el peatón en recorrer una distancia d

**d:** Distancia recorrida por el peatón.

## VELOCIDAD MÁXIMA DEL VEHÍCULO PARA DETENERSE ANTES DEL ATROPELLO

$$V = (3,6) \mu g t$$

V: Velocidad máxima del vehículo para detenerse antes del atropello.

t: Tiempo que tarda el peatón en recorrer la distancia hasta el atropello, menos el tiempo de reacción del conductor del vehículo.

$\mu$  - Coeficiente de rozamiento entre las llantas del vehículo y el piso.

g: Valor de la aceleración de la gravedad. (9,8 m/s<sup>2</sup>).

VELOCIDAD DEL VEHÍCULO DE ACUERDO A LA LONGITUD DE LA HUELLA DE FRENADA Y A LA VELOCIDAD AL MOMENTO DEL IMPACTO

$$V = 3,6\sqrt{2\mu g d + V_{imp}^2}$$

donde:

- V:** Velocidad del vehículo en el instante de comenzar a marcar la huella de frenada.  
 **$\mu$ :** Coeficiente de rozamiento efectivo entre las llantas y el asfalto seco: Máximo (0,8) Mínimo (0,7)  
**g:** Valor de la aceleración de la gravedad: 9,8 m/s<sup>2</sup>  
**d:** Longitud de la huella de frenada del vehículo.  
**V<sub>imp</sub>** = Velocidad del vehículo al momento del impacto.

**VELOCIDAD DEL VEHÍCULO DE ACUERDO A LA DISTANCIA RECORRIDA DESDE EL LUGAR DONDE OBSERVA EL OBSTÁCULO HASTA DONDE SE DETIENE COMPLETAMENTE**

$$V_v = \left[ -t + \left( t^2 + \frac{2d_A}{\mu g} \right)^{1/2} \right] \mu g$$

Donde.

$V_v$ : Velocidad del vehículo en el instante de observar el obstáculo.

$\mu$ : Coeficiente de rozamiento efectivo entre las llantas y el asfalto seco: Máximo (0,8) Mínimo (0,7)

$g$ : Valor de la aceleración de la gravedad: 9,8 m/s<sup>2</sup>

$d$ : Distancia total recorrida por el vehículo.

$t$  Tiempo de reacción para el conductor del vehículo.

## VELOCIDAD MÁXIMA DEL VEHÍCULO PARA NO DERRAPAR EN UNA CURVA

$$V = \sqrt{\mu g r}$$

**V:** Velocidad máxima del vehículo para no derrapar en curva

**$\mu$ :** Coeficiente de rozamiento entre las llantas del vehículo y el piso, Máximo 0,8.

**g:** Valor de la aceleración de la gravedad. (9,8 m/s<sup>2</sup>).

**r:** Radio de la trayectoria curva seguida por el bus.

## VELOCIDAD MÍNIMA PARA PRODUCIRSE EL DERRAPE Y EL VOLACAMIENTO DE UN VEHÍCULO AL REALIZAR UN GIRO

$$V_D = 3,6\sqrt{\mu gR}$$

$$V_v = 3,6\sqrt{(b/h)gR}$$

Donde:

$V_D$  = Velocidad mínima para el derrape.

$V_v$  = Velocidad mínima para el volcamiento.

- Coeficiente de rozamiento entre las llantas del vehículo y el piso.

R – Radio de giro.

$\mu$  b – distancia transversal entre las llantas del vehículo y el centro de masa del vehículo.

h – Altura del centro de masa del vehículo.

**TIEMPO QUE TARDA UN VEHÍCULO EN DETENERSE COMPLETAMENTE CUANDO SE DESPLAZA A UNA VELOCIDAD V**

$$t = \frac{V_f - V_i}{\mu g}$$

**$V_f$ :** Velocidad final del vehículo, igual a cero.

**$V_i$ :** Velocidad inicial del vehículo.

**t:** Tiempo que tarda el vehículo en detenerse completamente.

**$\mu$ :** Coeficiente de rozamiento entre las llantas del vehículo y el piso (0,6 – 0,8).

**g:** Valor de la aceleración de la gravedad. (9,8 m/s<sup>2</sup>).

## VELOCIDAD DE IMPACTO DE UN VEHÍCULO EN UN ATROPELLO

$$V_{imp} = \mu_V g t_{con} + V_{cai}$$

$$V_{cai} = \mu_p g \left[ \sqrt{(t_{con} + t_{cai})^2 - \frac{\mu_V t_{con}^2}{\mu_P} + \frac{2d_T}{\mu_p g}} - (t_{con} + t_{cai}) \right]$$

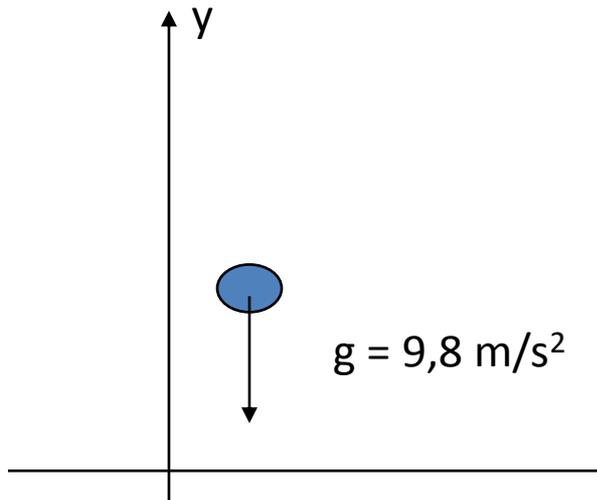
Donde:

- $\mu_p$  = Coeficiente de fricción entre el peatón el piso.
- $\mu_V$  = Coeficiente de fricción entre las llantas del vehículo y el piso.
- $d_T$  = Distancia entre el punto de colisión y la posición final de la víctima.
- $g$  = Valor de la aceleración gravitacional: 9,8 m/s<sup>2</sup>.
- $V_{imp}$  = Velocidad en el momento de la colisión.
- $h$  = Altura del centro de masa del peatón,  $h = 0,56 H$ ,  $H$  es la altura del peatón.
- $t_{con}$  = Tiempo de contacto.

## FÍSICA APLICADA A LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES

### Movimiento de Caída Libre

**Es el movimiento rectilíneo de un cuerpo sobre la superficie de la tierra, bajo la acción de la fuerza del peso.  
Es un movimiento rectilíneo con aceleración constante**



$$y = y_0 +/ - v_0 t - (1/2)gt^2$$

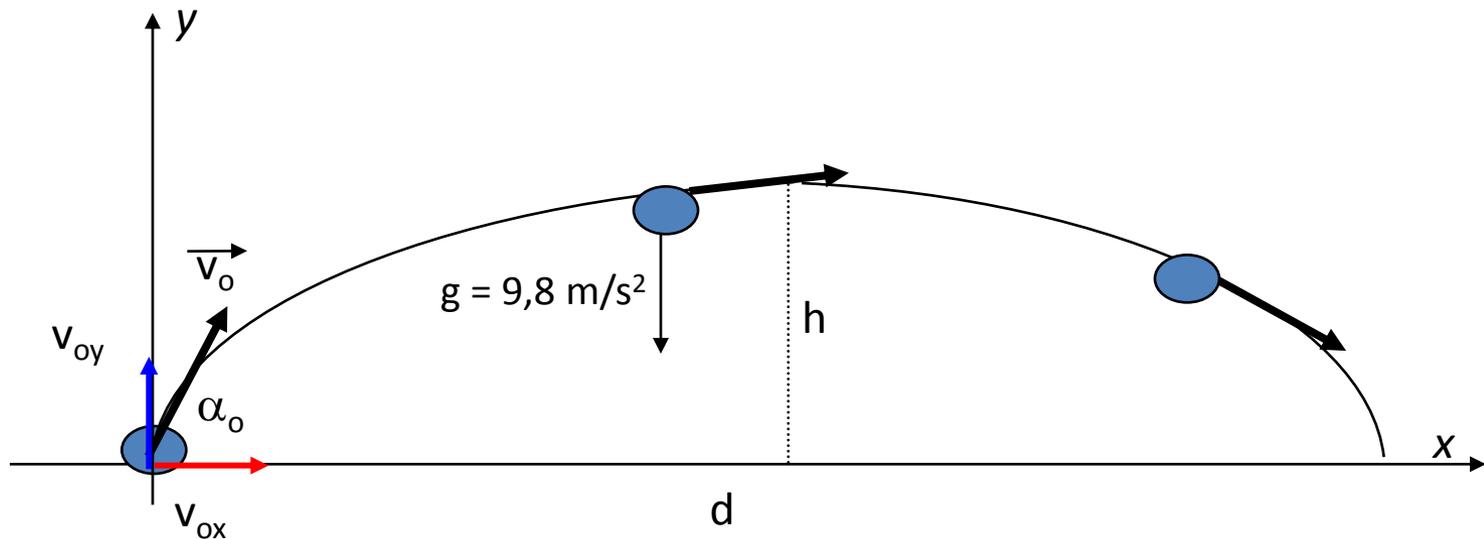
$$v = v_0 - gt$$

$$v^2 = v_0^2 - 2g(y - y_0)$$

## FÍSICA APLICADA A LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO

### Movimiento Parabólico

Es el movimiento en un plano de un cuerpo sobre la superficie de la tierra, bajo la acción de la fuerza del peso, en la cual la velocidad inicial forma un ángulo con la horizontal. Es un movimiento en dos dimensiones con aceleración constante en la dirección vertical ( $y$ )



## FÍSICA APLICADA A LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES Movimiento Parabólico

$$v_{ox} = v_o \text{Cos}\alpha_o$$

$$v_{oy} = v_o \text{Sen}\alpha_o$$

$$x = (v_o \text{Cos}\alpha_o)t$$

$$y = (v_o \text{Sen}\alpha_o)t - (1/2)gt^2$$

$$v_x = v_o \text{Cos}\alpha_o$$

$$v_y = v_o \text{Sen}\alpha_o - gt$$

# **PROCESO DE FRENADA DE EMERGENCIA**

**A**

## PROCESO FRENADA DE EMERGENCIA

**Posición del vehículo cuando se percibe el peligro**



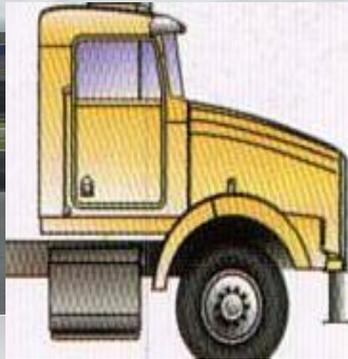
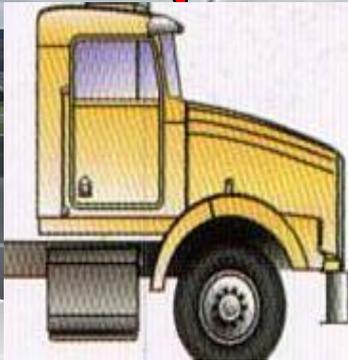
**PELIGRO**

**A**

**INICIO DE LA REACCIÓN**

**PERCEPCIÓN  
RECONOCIMIENTO  
ANÁLISIS  
DECISIÓN**

**PROCESO FRENADA  
DE EMERGENCIA**



**DISTANCIA DE REACCIÓN**

**Posición del  
vehículo  
cuando se  
reacciona**

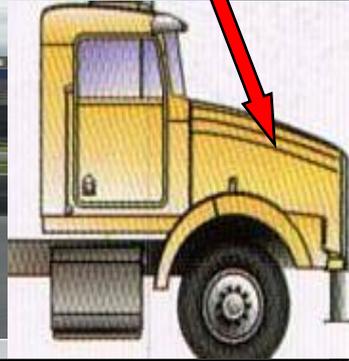
**PELIGRO**

**B**

**MANIOBRAS**

- Frenar
- Acelerar
- Girar
- Pitar
- Luces

**PROCESO FRENADA  
DE EMERGENCIA**



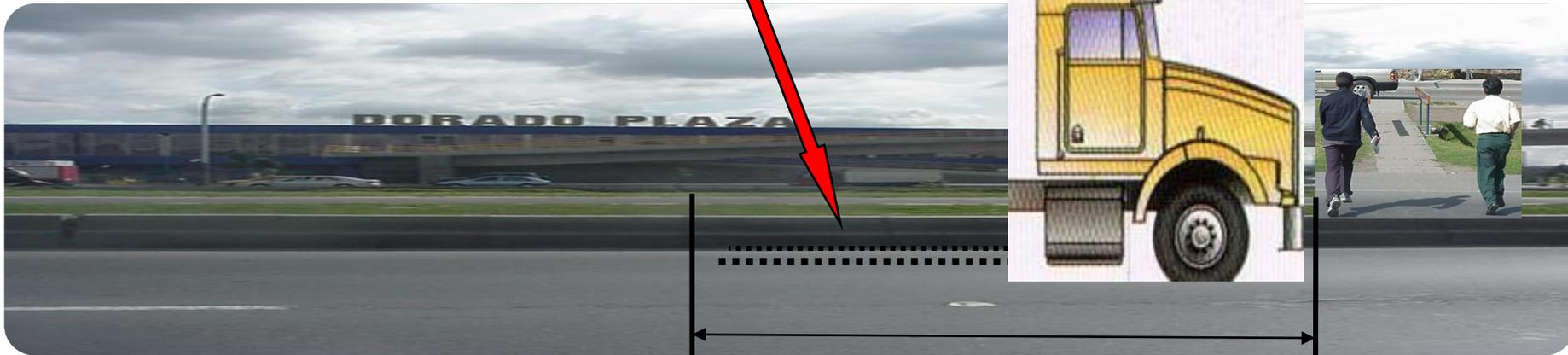
**DISTANCIA DE  
REACCIÓN**

**PELIGRO**

**C**

**Frenada de EMERGENCIA  
Huella de Frenado**

**PROCESO FRENADA DE EMERGENCIA**



**DISTANCIA DE FRENADO**

**Posición del vehículo después de detenerse**

**A**

**Posición del  
vehículo cuando  
se percibe el  
peligro**

**B**

**Posición del  
vehículo  
cuando se  
reacciona**

**C**

**Posición del vehículo  
después de detenerse**

**PROCESO FRENADA DE  
EMERGENCIA**



**PROCESO FRENADA DE EMERGENCIA**

<b>VELOCIDAD</b>	<b>Distancia de Reacción</b>	<b>Distancia de Frenado</b>	<b>Distancia Total de Parada</b>
<b>30 km/h</b>	<b>8,4 m</b>	<b>4,4 m</b>	<b>12,8 m</b>
<b>60 km/h</b>	<b>16,7 m</b>	<b>17,7 m</b>	<b>34,4 m</b>
<b>80 km/h</b>	<b>22,2 m</b>	<b>31,5 m</b>	<b>53,7 m</b>
<b>100 km/h</b>	<b>27,8 m</b>	<b>49,2 m</b>	<b>77 m</b>

### PROCESO DE FRENADA DE EMERGENCIA

El conductor observa el peligro, a partir de este instante transcurren aproximadamente entre uno (1,0 s) y uno coma dos (1,2 s) segundos, tiempo de reacción normal para un conductor atento, en aplicar los frenos o realizar alguna maniobra; si se elige por la frenada, al actuar los frenos, las llantas disminuyen su velocidad de giro, y si se pisa fuertemente el pedal se pueden bloquear las llantas, por lo que el vehículo finalmente se desplaza un trayecto frenando con llantas a punto de bloquearse o deslizando antes de detenerse totalmente, en este último caso es posible que quede marcada una huella de frenada.

### PROCESO DE FRENADA DE EMERGENCIA

El anterior proceso involucra dos distancias recorridas por el vehículo, primero la distancia que recorre el vehículo durante el tiempo de reacción del conductor, llamada distancia de reacción  $d_R$ , y segundo la distancia que recorre el vehículo durante la frenada  $d_F$ , la distancia total de parada  $d_T$ , es la suma de las dos, es decir,  $d_T = d_R + d_F$ ; Es importante anotar que cuando se bloquean las llantas se pierde maniobrabilidad en la conducción.

La siguiente tabla muestra la distancia que recorre un vehículo durante el tiempo de reacción, durante la frenada y la distancia total de parada calculada para el rango de velocidad encontrado para cada vehículo.

La velocidad del vehículo un instante antes de comenzar a marcar la huella de frenada esta dada por :

$$V = 3,6 \sqrt{2fgd}$$

Donde:

**V:** Velocidad del vehículo en el instante de comenzar a marcar la huella de frenada.

**f:** Coeficiente de rozamiento entre las llantas del vehículo y el asfalto.

**g:** Valor de la aceleración de la gravedad: 9,8 m/s<sup>2</sup>.

**d:** Longitud de la huella de frenada más larga marcada por el vehículo.

Para aplicar la fórmula y calcular la velocidad del vehículo al inicio de la huella de frenada, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

Si no queda marcada huella de frenada en el lugar de los hechos, no es posible aplicar la fórmula.

La fórmula (1) es válida si la huella es marcada en una superficie plana o en leves pendientes, menores de un grado .

Si quedan varias huellas de frenada, se debe utilizar la longitud de la huella más larga.

El valor de la aceleración de la gravedad que aparece en la fórmula  $g$ , siempre tiene un valor de  $9,8 \text{ m/s}^2$ .

El coeficiente de rozamiento  $f$  entre las llantas del vehículo y el piso, depende del estado y clase de la vía en la cual se dejó la huella, su valor se puede obtener de la siguiente tabla:

<b>ESTADO DE LA VÍA</b>	<b>VALOR DE <math>f</math></b>
<b>Asfalto o concreto seco</b>	<b>Entre 0,7 y 0,8</b>
<b>Asfalto o concreto húmedo</b>	<b>Entre 0,5 y 0,6</b>
<b>Asfalto o concreto inundado</b>	<b>Entre 0,3 y 0,5</b>

✓ Si el vehículo que marca la huella de frenada es uno de grandes dimensiones, bus, camión, tracto camión, etc., se usa el siguiente coeficiente de rozamiento.

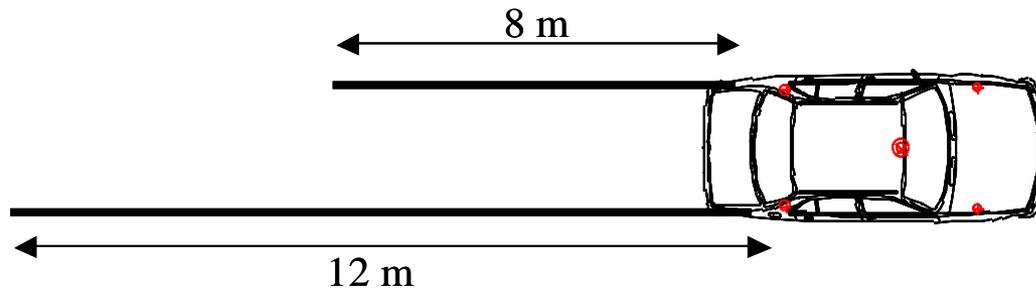
ESTADO DE LA VÍA	VALOR DE $f$
Asfalto o concreto seco	Entre 0,6 y 0,7
Asfalto o concreto húmedo	Entre 0,4 y 0,5
Asfalto o concreto inundado	Entre 0,3 y 0,4

## FORMULAS BÁSICAS EN RECONSTRUCCIÓN

### CASO # 1

Un aspecto *importante* para la utilización de la fórmula (1) es el siguiente: Si el vehículo se detiene al final de la huella de frenada, entonces la velocidad calculada a partir de la fórmula es la que tenía el vehículo al inicio de la misma.

Ejemplo #1: Un automóvil realiza una frenada de emergencia, deja dos huellas de frenada, la del lado derecho de 12 metros de longitud y la del lado izquierdo de 8 metros, el vehículo queda al final de la huella, y la vía es recta, asfaltada, plana y se encontraba seca.



Utilizando la fórmula 1, con los siguientes datos tenemos lo siguiente:

entre 0,7 y 0,8 y  $d = 12$  m

primero se realiza la operación con 0,7:

$$V = 3,6\sqrt{2(0,7)(9,8)(12)} = 46,2km/h$$

Este valor se aproxima a 46 km/h.

ahora con 0,8;

$$V = 3,6\sqrt{2(0,8)(9,8)(12)} = 49,4km/h$$

Este valor se redondea a 49 km/h.

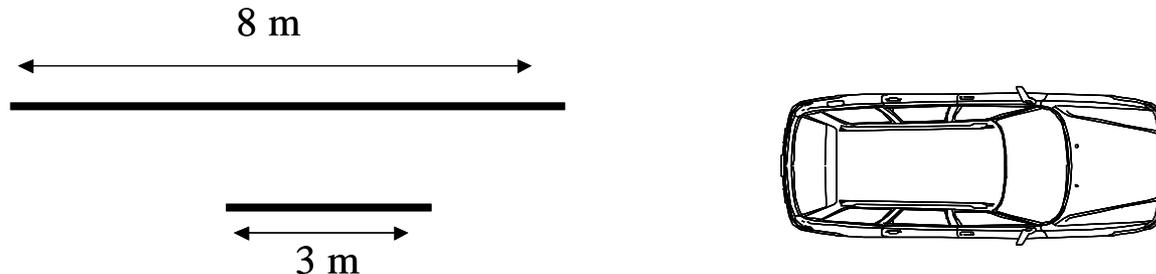
Como respuesta se tiene que la velocidad del automóvil un instante antes de comenzar a marcar la huella de frenado se encontraba entre 46 y 49 kilómetros por hora.

### CASO # 2

Otro aspecto *importante* para la utilización de la fórmula (1) es el siguiente: Si el vehículo NO se detiene al final de la huella de frenada, o no se sabe el lugar donde quedó finalmente, entonces la velocidad calculada a partir de la fórmula es la velocidad MINIMA que tenía el vehículo al inicio de la misma.

Ejemplo #2: Un automóvil realiza una frenada de emergencia, deja dos huellas de frenada, la del lado izquierdo de 8 metros de longitud y la del lado derecho de 3 metros, el vehículo NO queda al final de la huella, y la vía es recta, asfaltada, plana y se encontraba seca.

Utilizando la fórmula 1, con el valor más pequeño del coeficiente de rozamiento y longitud de la huella más larga encontramos la velocidad MINIMA a la que se desplazaba el vehículo:



$$V = 3,6\sqrt{2(0,7)(9,8)(8)} = 37,7\text{km/h}$$

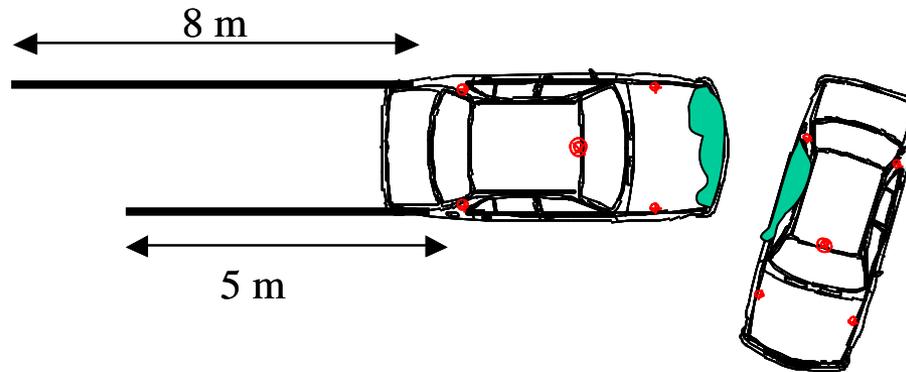
Este valor se aproxima a 38 km/h.

Como respuesta se tiene que la velocidad del automóvil un instante antes de comenzar a marcar era SUPERIOR a 38 kilómetros por hora, sin poderse establecer su valor máximo.

## CASO #3

Otro aspecto *importante* para la utilización de la fórmula (1) es el siguiente: Si el vehículo se detiene al final de la huella de frenada, pero debido a la colisión con otro vehículo u objeto fijo, entonces la velocidad calculada a partir de la fórmula es la velocidad MINIMA que tenía el vehículo al inicio de la misma.

Ejemplo #3: Un automóvil realiza una frenada de emergencia, deja dos huellas de frenada, la del lado derecho de 5 metros de longitud y la del lado izquierdo de 8 metros, el vehículo queda al final de la huella, pero colisiona con otro vehículo, la vía es recta, asfaltada, plana y se encontraba seca.



Utilizando la fórmula 1, con el valor más pequeño del coeficiente de rozamiento y longitud de la huella más larga encontramos la velocidad MINIMA a la que se desplazaba el vehículo:

$f$  0,7 y  $d = 8$  m  
tenemos:

$$V = 3,6\sqrt{2(0,7)(9,8)(8)} = 37,7\text{km/h}$$

Este valor se aproxima a 38 km/h.

Como respuesta se tiene que la velocidad del automóvil un instante antes de comenzar a marcar era SUPERIOR a 38 kilómetros por hora, sin poderse establecer su valor máximo.

**PROCESO DE FRENADA DE EMERGENCIA**

La siguiente tabla muestra la distancia que recorre un vehículo durante el tiempo de reacción, durante la frenada y la distancia total de parada.

<b>VELOCIDAD DEL VEHÍCULO</b>	<b>DISTANCIA QUE RECORRE EL VEHÍCULO DURANTE LA REACCIÓN <math>d_R</math></b>	<b>DISTANCIA DE FRENADA <math>d_F</math></b>	<b>DISTANCIA TOTAL <math>d_T = d_R + d_F</math></b>
<b>39 - 47 km/h</b>	Entre 11 y 16 m	entre 8 y 12 m	entre 19 y 28 m

Aquí se puede presentar lo siguiente:

I.Si el peligro se presenta a una distancia MENOR a  $d_R$ , el conductor no tiene tiempo para realizar alguna maniobra para evitar la colisión, y el accidente se produce inevitablemente.

I.Si el peligro se presenta a una distancia entre  $d_R$  y  $d_T$ , el conductor puede comenzar a realizar una maniobra evasiva, por ejemplo frenar o maniobrar a un lado y luego frenar, y dependiendo de algunos factores que no se pueden evaluar físicamente, es posible evitar el accidente, o hacerlo menos grave.

I.Si el peligro se presenta a una distancia MAYOR a  $d_T$  el conductor puede realizar una maniobra evasiva, por ejemplo frenar o maniobrar a un lado y luego frenar, en este caso el vehículo se detiene antes de la colisión y el accidente no ocurre.

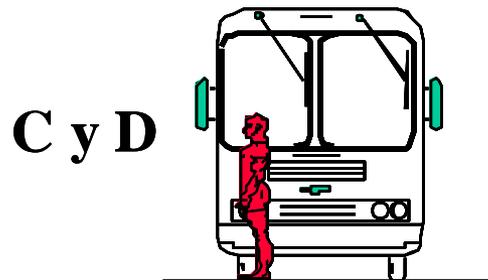
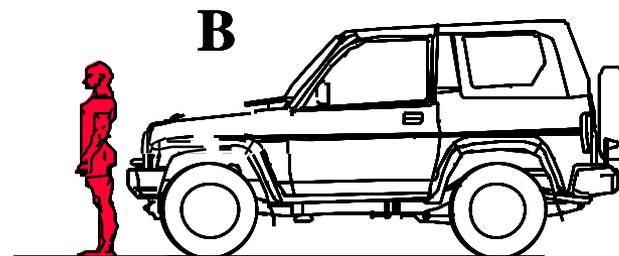
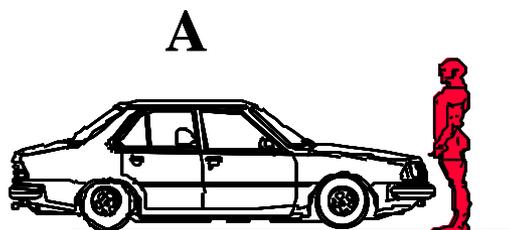
**Técnica de "*distancia de Lanzamiento*" empleada en la reconstrucción de colisiones vehículo – Peatón**

## Objetivo

**Se presenta la metodología utilizada en el laboratorio de Física Forense del Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses para realizar la reconstrucción de accidentes de tránsito, donde se encuentra involucrado un vehículo y un peatón, en particular determinar la velocidad del vehículo al momento de los hechos, a partir de la distancia de lanzamiento. Se identifican los parámetros, se muestran los fundamentos físicos, las fórmulas y se da un procedimiento general sobre la metodología utilizada.**

## Clases de Atropellos

- A. Automóvil – peatón
- B. Camioneta – peatón
- C. Bus – Buseta – peatón
- D. Camión – Tracto camión – peatón



### **Las fases de un atropello son:**

**Impacto primario:** Es el contacto que se presenta entre la parte más saliente del vehículo, bomper, persiana, con la mitad inferior del peatón.

Por lo general aquí las lesiones se encuentran en las extremidades inferiores y pelvis, y consisten en hematomas, heridas, así como fracturas en huesos largos a la altura del bomper del vehículo, las cuales dependen de la clase de vehículo involucrado y de la velocidad.

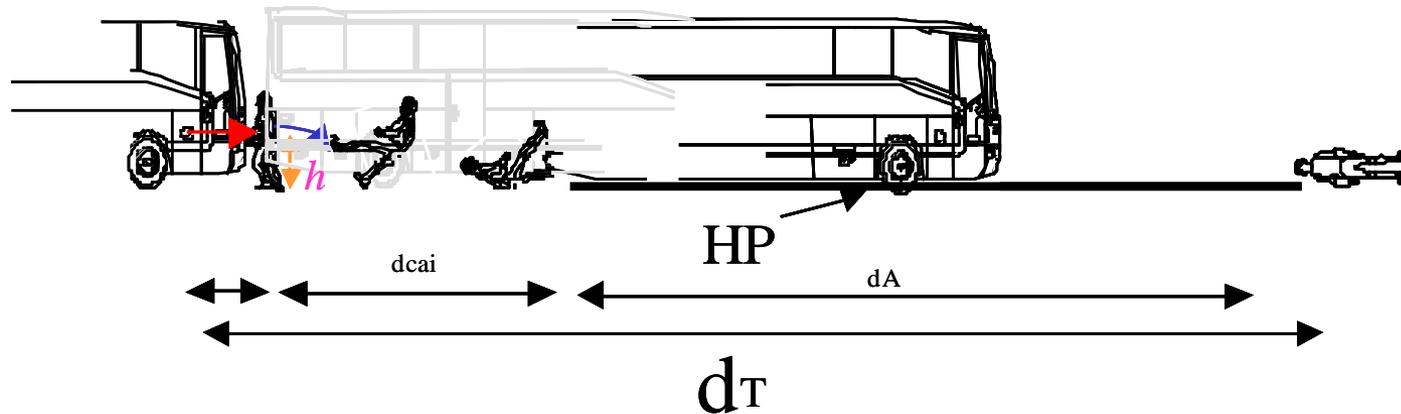
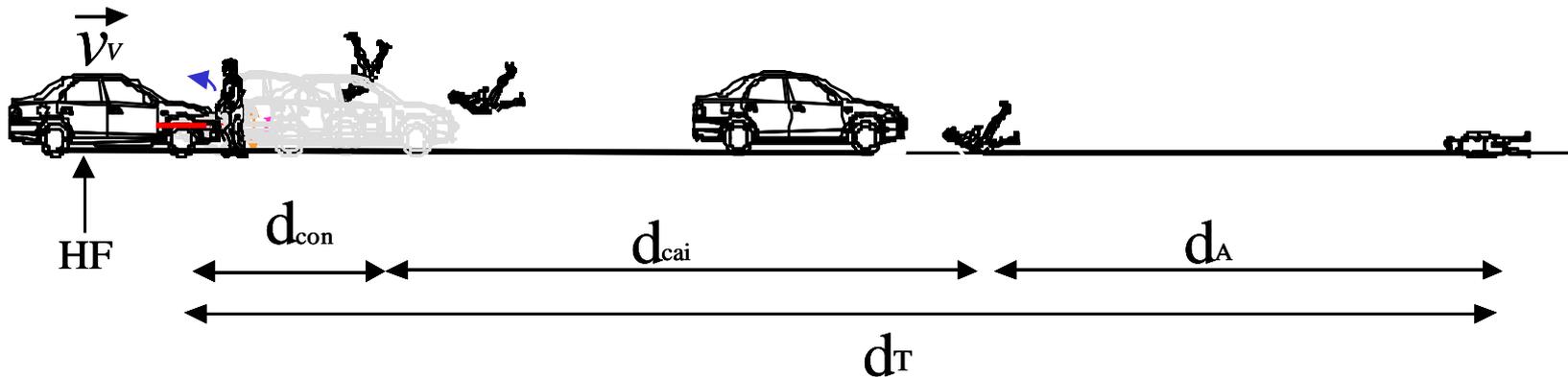
**Impacto secundario: Es el contacto que se presenta entre otras partes del vehículo (capó, panorámico, etc.) con la mitad superior del peatón.**

**Las lesiones consisten principalmente traumas cráneo encefálicos y traumatismos cervicales, torácicos y abdominales, fracturas en reja costal y huesos de las extremidades superiores, la gravedad y ubicación de las lesiones dependen de la clase de vehículo involucrado y de la velocidad.**

**Caída y Arrastre: Es la Proyección del cuerpo del peatón sobre la vía, produciéndose un contacto con el piso y su posterior arrastre, con la posibilidad de que se presente el aplastamiento.**

**Las lesiones consisten en excoriaciones producidas por el arrastre del cuerpo sobre la vía, diversas heridas con fracturas de la parte del cuerpo que cae inicialmente al suelo, por lo general trauma craneoencefálico, y si se presenta el aplastamiento es posible encontrar graves lesiones con exposición de material orgánico en la parte del cuerpo que ha sido aplastada, la gravedad de las lesiones dependen de la clase de vehículo involucrado y de la velocidad.**

# Técnica de "distancia de Lanzamiento" empleada en la reconstrucción de colisiones vehículo – Peatón

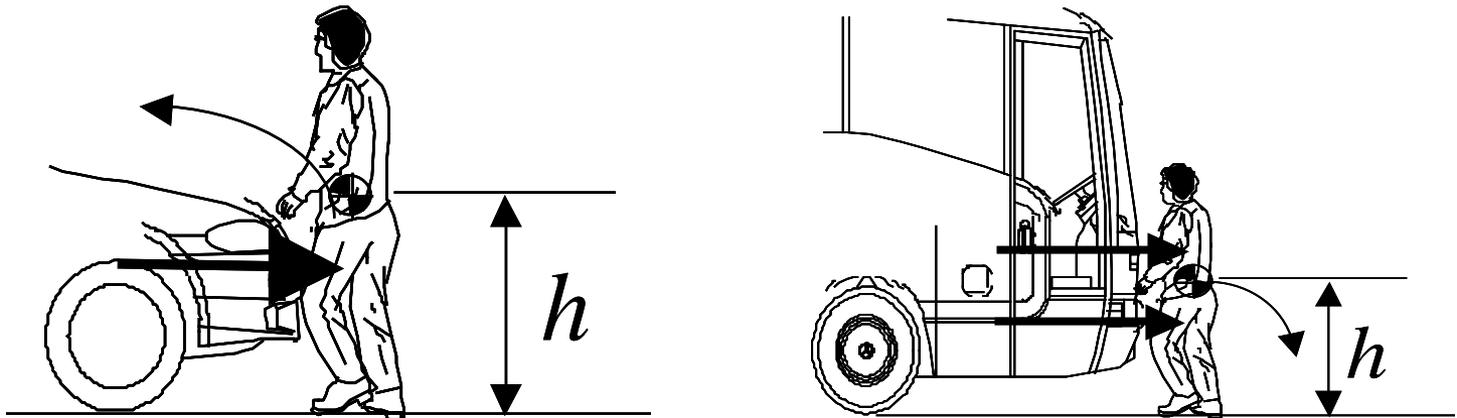


Técnica de "*distancia de Lanzamiento*" empleada en la reconstrucción de colisiones vehículo – Peatón

---

**modelo físico**

El vehículo se desplaza al momento del atropello a una velocidad  $V_{imp}$  realizando un proceso de desaceleración (frenada)  $\mu_v g$ , El peatón recibe el impacto por debajo del centro de masa en el caso de un automóvil, cerca del centro de masa en el caso de un campero, camioneta y por encima en el caso de un vehículo tipo caja (Bus – Buseta – Camión), seguidamente se presenta las secuencias descritas anteriormente, en la cual se pueden identificar las siguientes zonas



**Zona de Contacto:** Corresponde al impacto primario y secundario, es el contacto que existe entre el vehículo y la víctima, para el caso de un automóvil, se relaciona con el movimiento del cuerpo del peatón sobre el capó del vehículo, su contacto con el parabrisas y su posterior deslizamiento de nuevo sobre el capó hasta el inicio de la caída, para el caso de un vehículo tipo caja es el contacto con el frontal del vehículo; la velocidad con la cual el peatón inicia su caída al piso, llamada velocidad de caída  $V_{cai}$ , es menor a la velocidad de impacto  $V_{imp}$ :

$$V_{cai} = V_{imp} - \mu_V g t_{con} \quad (1)$$

Zona de Contacto:

Aquí se pueden valorar la distancia de contacto  $d_{con}$  y el tiempo de contacto  $t_{con}$ .

$t_{con}$ : Corresponde al tiempo que transcurre durante el contacto vehículo - peatón, es decir, desde el contacto inicial de la parte delantera del vehículo (bomper) con las extremidades del peatón, hasta el instante en que su centro de masa comienza a caer al piso, el cual es generalmente el instante del desprendimiento del cuerpo del peatón del capó del vehículo, este tiempo para un automóvil varía dependiendo de la clase y la velocidad entre 0,4 y 0,8 segundos, para un vehículo camioneta, campero entre 0,2 y 0,4 segundos, y para uno tipo caja alrededor de 0,1 segundos.

$d_{con}$ : Corresponde a la distancia que recorre el vehículo durante la zona de contacto y depende de la velocidad al momento del impacto, del tiempo de contacto  $t_{con}$ , y de la desaceleración del vehículo.

(2)

$$d_{con} = V_{imp} t_{con} - 4,9 \mu_V t_{con}^2$$

**Zona de Caída:** Corresponde a la caída de la víctima de la parte delantera del vehículo, generalmente el capó o frontal, hasta que llega al piso; aquí se pueden valorar la distancia de caída  $d_{cai}$  y el tiempo de caída  $t_{cai}$ .

$t_{cai}$ : Corresponde al tiempo que transcurre durante la caída, este tiempo depende de la altura  $h$  del centro de masa de la víctima desde la cual se desprende, en el caso de un vehículo tipo caja se usa la altura corresponde a la del centro de masa  $h$  del peatón de pie, aproximadamente 0,56 de su altura total. Para un colombiano promedio ( $h = 0,92 \text{ cm}$ ), el tiempo de vuelo sería aproximadamente de 0,43 segundos.

$d_{cai}$ : Corresponde a la distancia que recorre el peatón durante la zona de caída y depende de la velocidad con la cual sale el peatón después de la zona de contacto  $V_{cai}$  y del tiempo de caída  $t_{cai}$ .

$$d_{cai} = (V_{imp} - \mu_V g t_{con}) \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad (3)$$

**Zona de arrastre:** Corresponde a la distancia que recorre la víctima desde el momento en que cae al piso hasta su detención final, rodando sin resbalar o arrastrándose; aquí se puede valorar la distancia de arrastre  $d_A$ , la cual depende del coeficiente de rozamiento  $\mu_p$  entre la víctima y el piso, y de la velocidad con la cual sale el peatón después de la zona de contacto  $V_{cai}$ .

$\mu_p$  puede variar entre 0,6 y 1,0.

$$d_A = \frac{(V_{imp} - \mu_V g t_{con})^2}{2\mu_p g} \quad (4)$$

***Distancia de Lanzamiento:***

Por último, se puede obtener la distancia total  $d_T$  o distancia de lanzamiento del peatón, desde el lugar de impacto hasta el sitio donde queda finalmente, como la suma de las distancias para cada una de las zonas descritas anteriormente:

$$d_T = V_{imp} t_{con} - 4,9 \mu_V t_{con}^2 + (V_{imp} - \mu_V g t_{con}) \sqrt{\frac{2h}{g} + \frac{(V_{imp} - \mu_V g t_{con})^2}{2\mu_p g}} \quad (5)$$

**Técnica de "distancia de Lanzamiento" empleada en la reconstrucción  
de colisiones vehículo – Peatón**

---

De igual forma se puede encontrar la  $V_{imp}$   $V_{imp} = \mu_V g t_{con} + V_{cai}$  (6)  
Donde:

$$V_{cai} = \mu_p g \left[ \sqrt{(t_{con} + t_{cai})^2 - \frac{\mu_V t_{con}^2}{\mu_p} + \frac{2d_T}{\mu_p g}} - (t_{con} + t_{cai}) \right] \quad (7)$$

$$t_{cai} = \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad (8)$$

**Donde:**

$\mu_p$  = Coeficiente de fricción entre el peatón el piso.

$\mu_V$  = Coeficiente de fricción entre las llantas del vehículo y el piso.

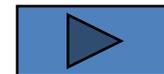
$d_T$  = Distancia entre el punto de colisión y la posición final de la víctima.

$g$  = Valor de la aceleración gravitacional: 9,8 m/s<sup>2</sup>.

$V_{imp}$  = Velocidad en el momento de la colisión.

$h$  = Altura del centro de masa del peatón,  $h = 0,56 H$ ,  $H$  es la altura del peatón.

$t_{con}$  = Tiempo de contacto.



**Técnica de "distancia de Lanzamiento" empleada en la reconstrucción  
de colisiones vehículo – Peatón**

---

**Como elemento adicional a este análisis se puede indicar que si el vehículo se encontraba realizando un proceso de frenada y había marcado una huella de longitud L antes del impacto, la velocidad del vehículo un instante antes de marcar la huella de frenada  $V_F$  esta dada por la siguiente fórmula:**

$$V_F = \sqrt{2\mu_V gL + V_{imp}^2} \quad (9)$$

**Donde:**

- $\mu_V$  =** Coeficiente de fricción entre las llantas del vehículo y el piso.
- L =** Longitud de la huella de frenada hasta el lugar del atropello.
- g =** Valor de la aceleración gravitacional: 9,8 m/s<sup>2</sup>.
- $V_{imp}$  =** Velocidad en el momento del atropello.

**En este caso la velocidad del vehículo al momento del atropello, también se puede determinar a partir de la longitud de la huella de frenada medida desde el lugar de impacto, hasta la posición final del vehículo.**

**Técnica de "*distancia de Lanzamiento*" empleada en la reconstrucción  
de colisiones vehículo – Peatón**

---

**Procedimiento general:**

**Cuando se aborda una reconstrucción de un accidente de tránsito tipo atropello, se deben tener en cuenta las siguientes etapas:**

- a) La información necesaria para realizar la reconstrucción es la siguiente: Informe del accidente de tránsito con su respectivo plano o croquis debidamente diligenciado, experticio técnico del vehículo con fotografías, dictamen de lesiones, protocolo de necropsia, versiones de testigos e involucrados.**
  
- b) Se analiza el informe de accidente del lugar de los hechos con el fin de determinar las características geométricas, físicas y ambientales y de la vía, hora de ocurrencia, clase de vehículo y edad de los involucrados.**
  
- c) Se analiza el croquis o plano del lugar de los hechos con el fin de determinar las evidencias físicas como huellas de frenada, de arrastre, manchas de sangre, posición final de la víctima y el vehículo, zapatos, etc., luego se realiza un plano a escala con el fin de encontrar las distancias entre ellas.**

### Procedimiento general

d) A partir de las evidencias es posible establecer el lugar donde ocurrió el atropello, así como la distancia  $d_T$  hasta la ubicación final de la víctima.

e) Teniendo en cuenta la clase de vehículo, la víctima, el estado de la vía, los daños, las lesiones, etc., se establecen los rangos para los siguientes parámetros:

$\mu_p$  = Coeficiente de fricción entre el peatón el piso: entre 0,6 y 1,0.

$\mu_v$  = Coeficiente de fricción entre las llantas del vehículo y el piso: entre 0,4 y 0,8.

$h$  = Altura del centro de masa del peatón: 0,56 de la altura total.

$t_c$  = Tiempo de contacto

$t_{cai}$  = Tiempo de caída con la fórmula (8)

f) Con la fórmula (7) se calcula el rango para la velocidad de caída  $V_{cai}$ , y con la fórmula (6) el rango de la velocidad al momento del impacto  $V_{imp}$ .

*“Esta es la etapa más importante del análisis, ya que la correcta definición de los parámetros determina un rango de velocidad del vehículo al momento del impacto  $V_{imp}$ .”*

*Por lo general se determina un rango de valor para cada uno de los parámetros, el cual varía de acuerdo a las condiciones especiales de cada accidente; La definición de los parámetros no se aborda en el presente artículo, aunque en el mismo se dan los valores máximos y mínimos que generalmente se usan en la reconstrucción de accidentes, el objetivo se centra en encontrar el rango más estrecho, el cual determinaría una  $V_{imp}$  también estrecha.”*

### Procedimiento general

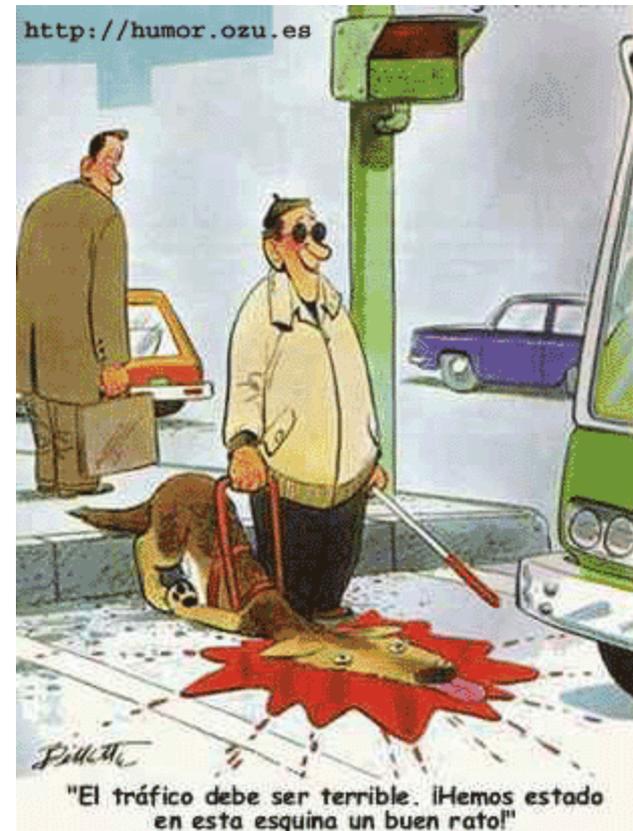
- g) Una vez establecido el rango de velocidad  $V_{imp}$ , se correlaciona con los daños del vehículo y las lesiones de la víctima, con el fin de determinar si existe compatibilidad entre estos elementos, lo cual sirve de control de los resultados.
- h) En el caso en el cual no sea posible determinar el lugar donde ocurrió el atropello, lo que impide determinar la velocidad del vehículo con el modelo de distancia de lanzamiento, el laboratorio cuenta con la experiencia en la determinación de un rango de velocidad a partir de las lesiones de la víctima, su edad, el vehículo y los daños, con este rango de velocidad y usando la fórmula (5) se establece el área en la vía en la cual ocurrió el atropello.
- i) Es importante anotar que la mejor forma de determinar la velocidad del vehículo al momento de la colisión sería en el caso que el vehículo marque huella de frenada antes durante y después del impacto hasta su posición final y quede el registro del lugar de colisión, con la longitud de este segmento de huella se calcula la velocidad.

## **Bibliografía**

- \*Brooks, J. Wiechel, M. Sens, D. Guenther “A comprehensive Review of Pedestrian Impact Reconstruction, SAE paper No. 870605, 1987.**
- \*Ashton SJ.(1989) “Pedestrian Accident Investigation and Reconstruction”, IPTM.**
- \*Limpert R., (1999) “ Motor Vehicle Accident Reconstruction and Cause Analysis”.**
- \*Martínez L. (1995) “Pedestrian Accident Reconstruction: Review and Update.**
- \*Damask AC.(1987) “ Forensic physics of vehicle accidents”, Physics Today.**

# Atropellamiento

- Impacto primario
- Caída
- Arrastre
- Aplastamiento



# ACCIDENTE TIPO VEHÍCULO – PEATÓN

## Fases de la colisión:



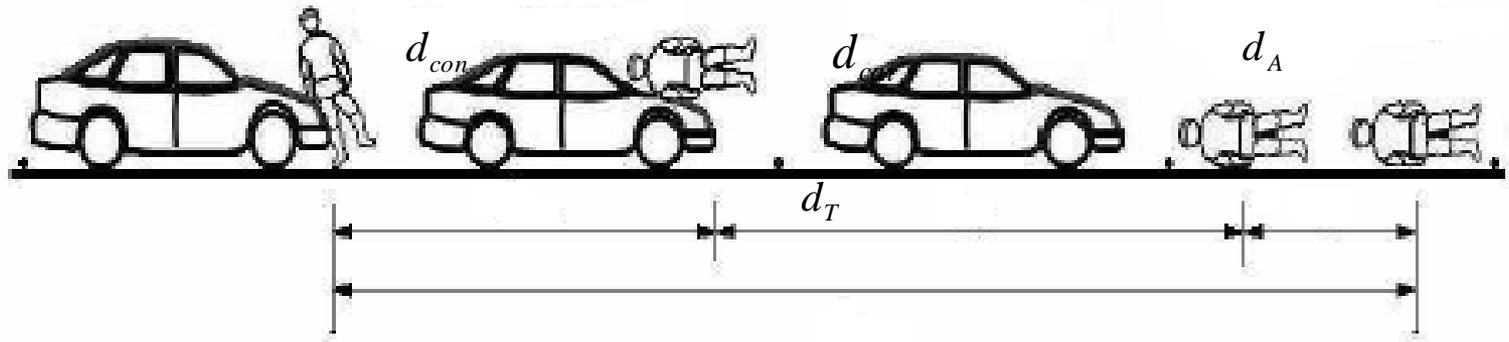
**Caso frontal: automóvil – peatón (adulto)**

La trayectoria del peatón, puede ser descrita en tres zonas:

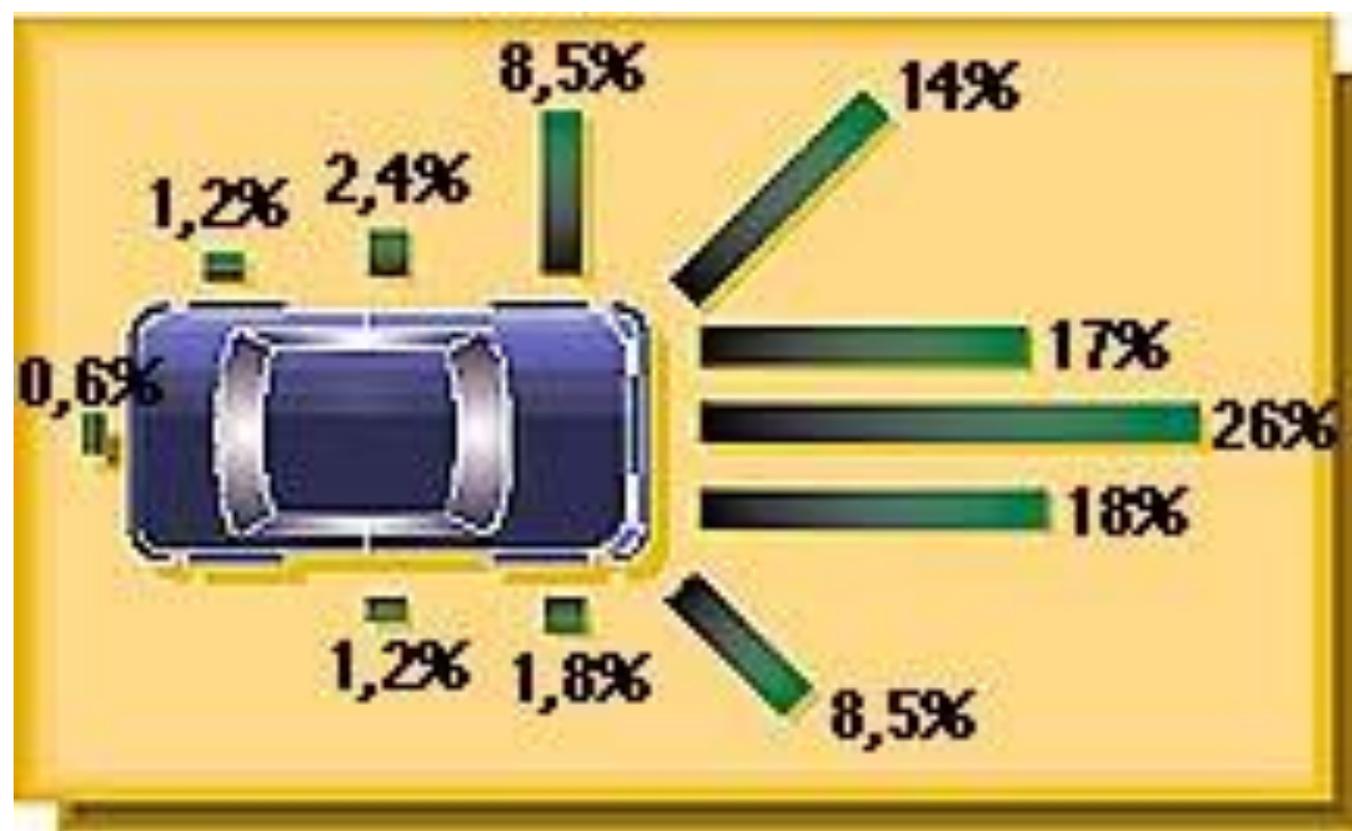
a. Zona de contacto

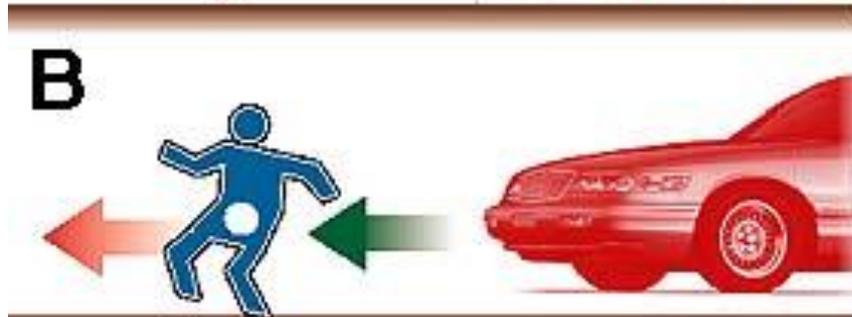
b. Zona de caída

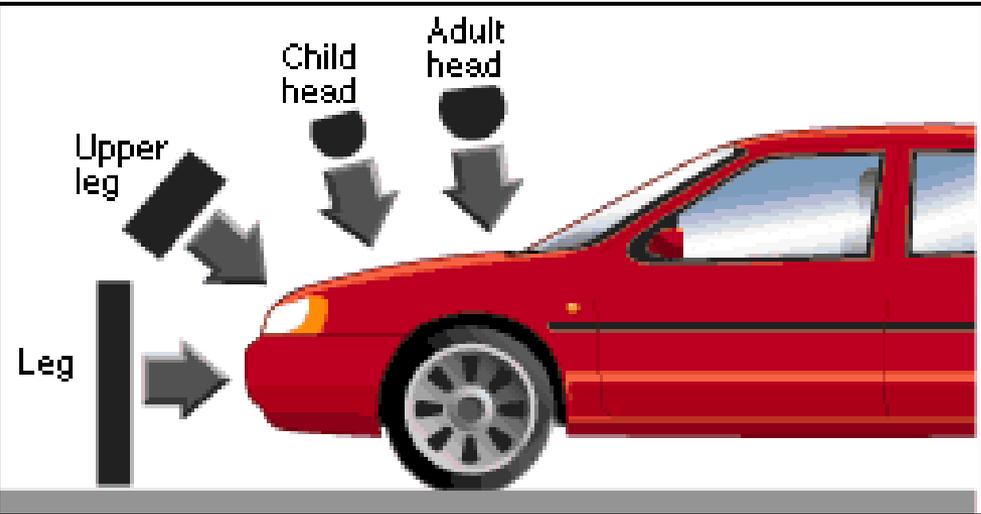
c. Zona de arrastre







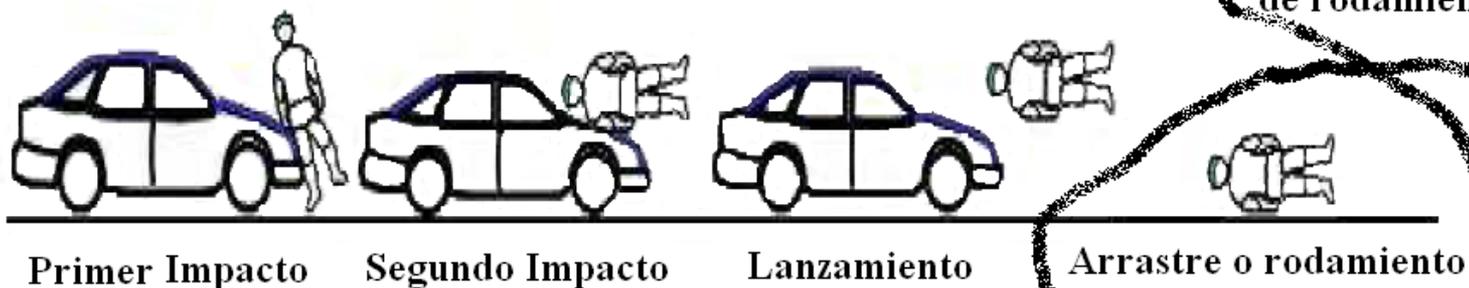




# COMPLEMENTACIÓN DE LA PRUEBA

Consiste principalmente en considerar que existe movimiento de rodadura desde el momento en el que el peatón cae al piso hasta su detención final.

Fases de la colisión vehículo - peatón



Nueva parte de la prueba  
donde se va a incluir la parte  
de rodamiento de la persona.

# Impacto primario

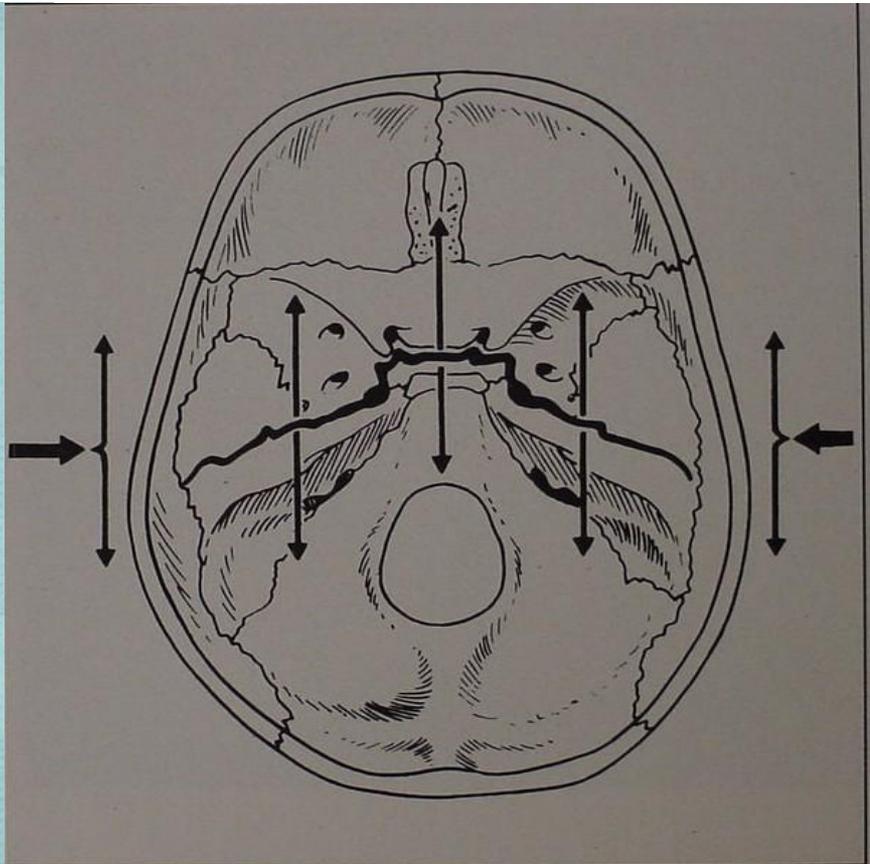
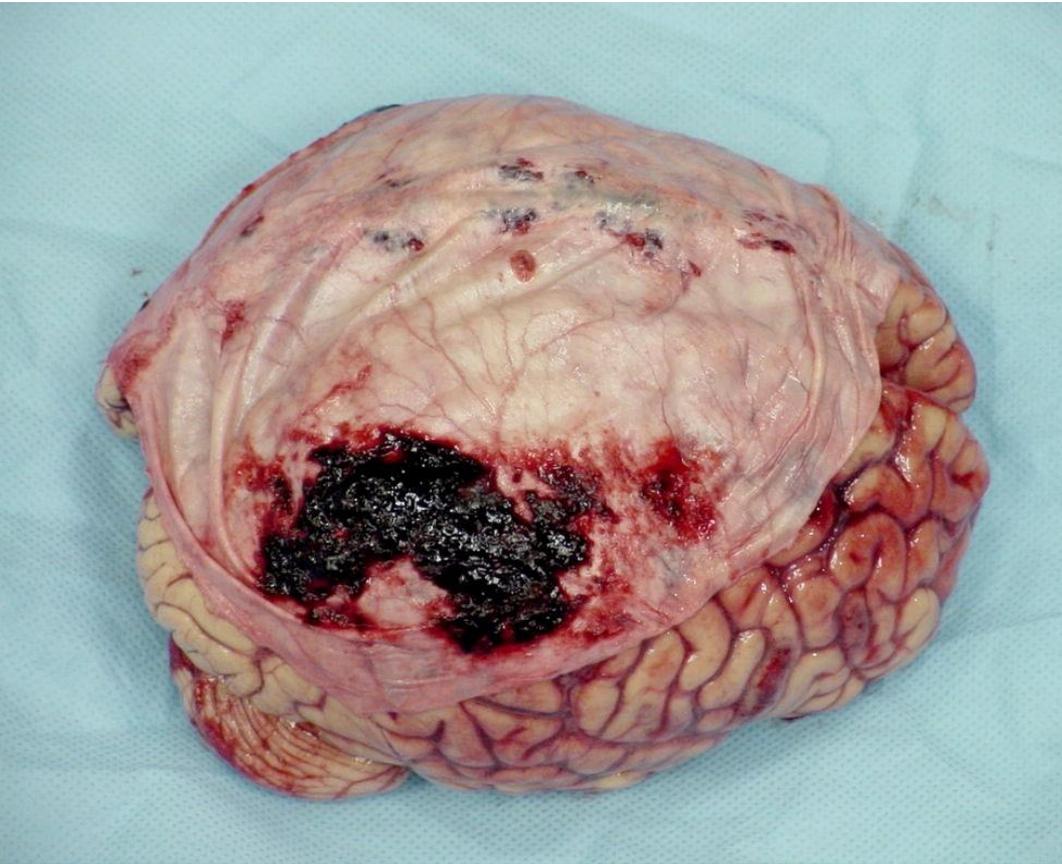


# Impacto primario



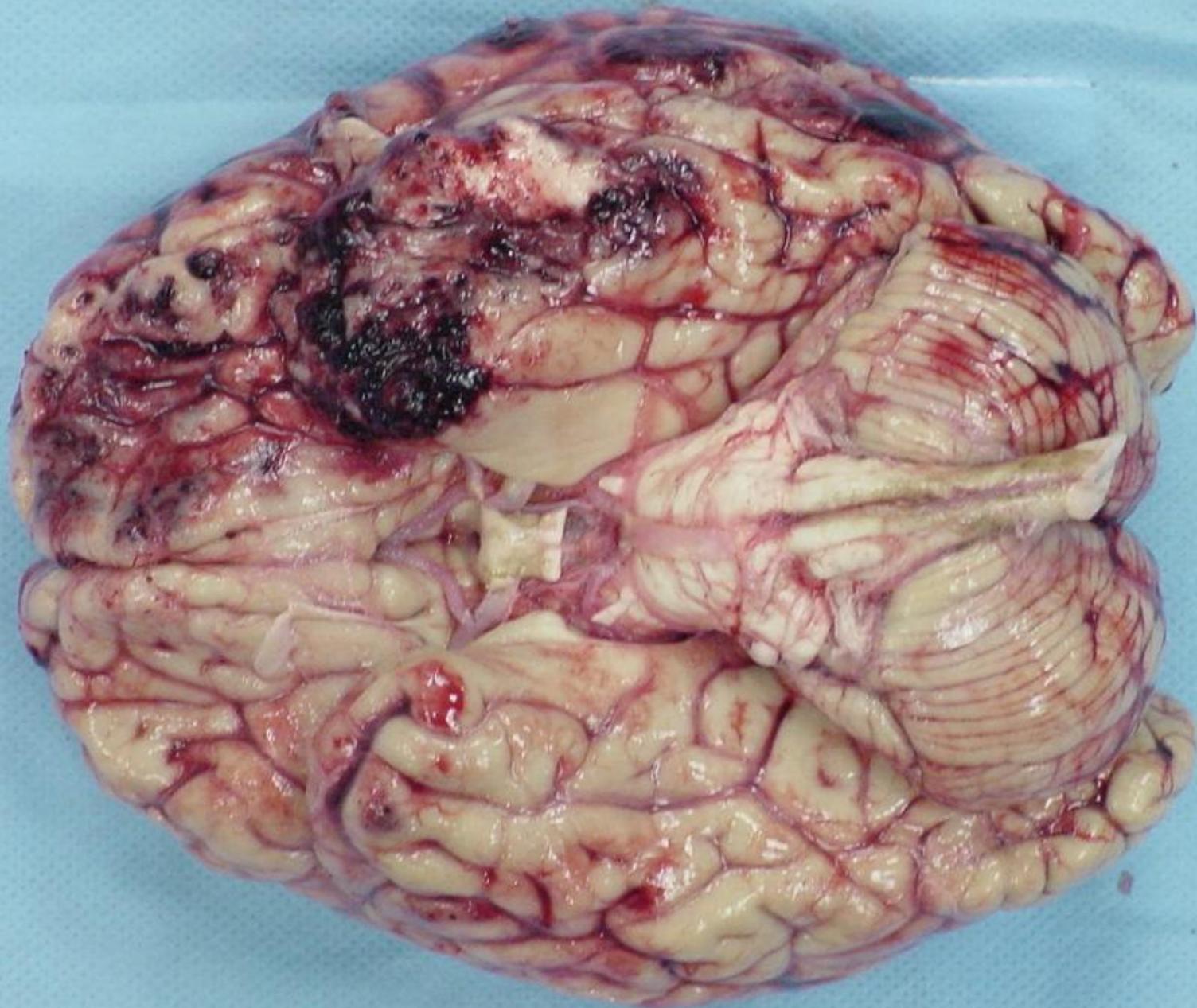
# Caída

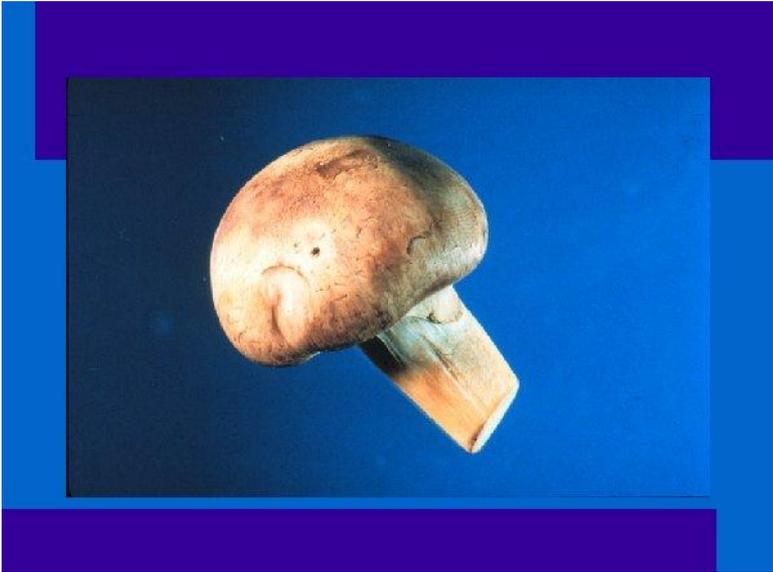
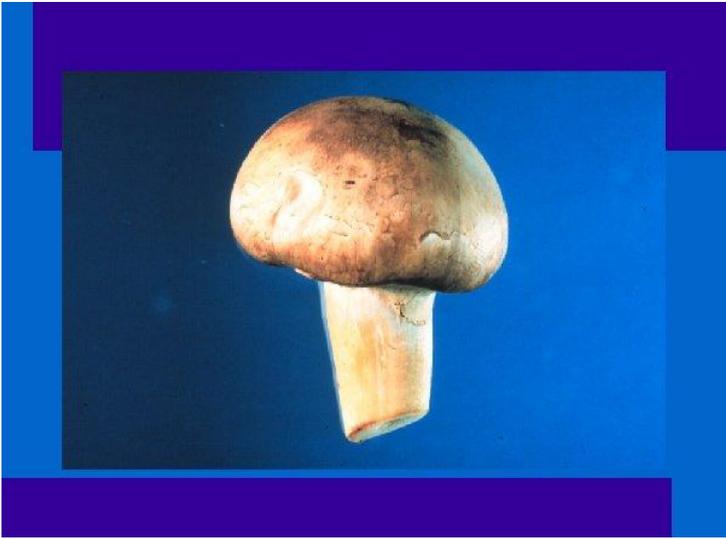




# Golpe y contragolpe

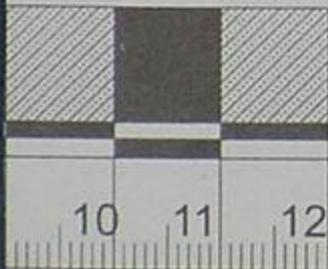




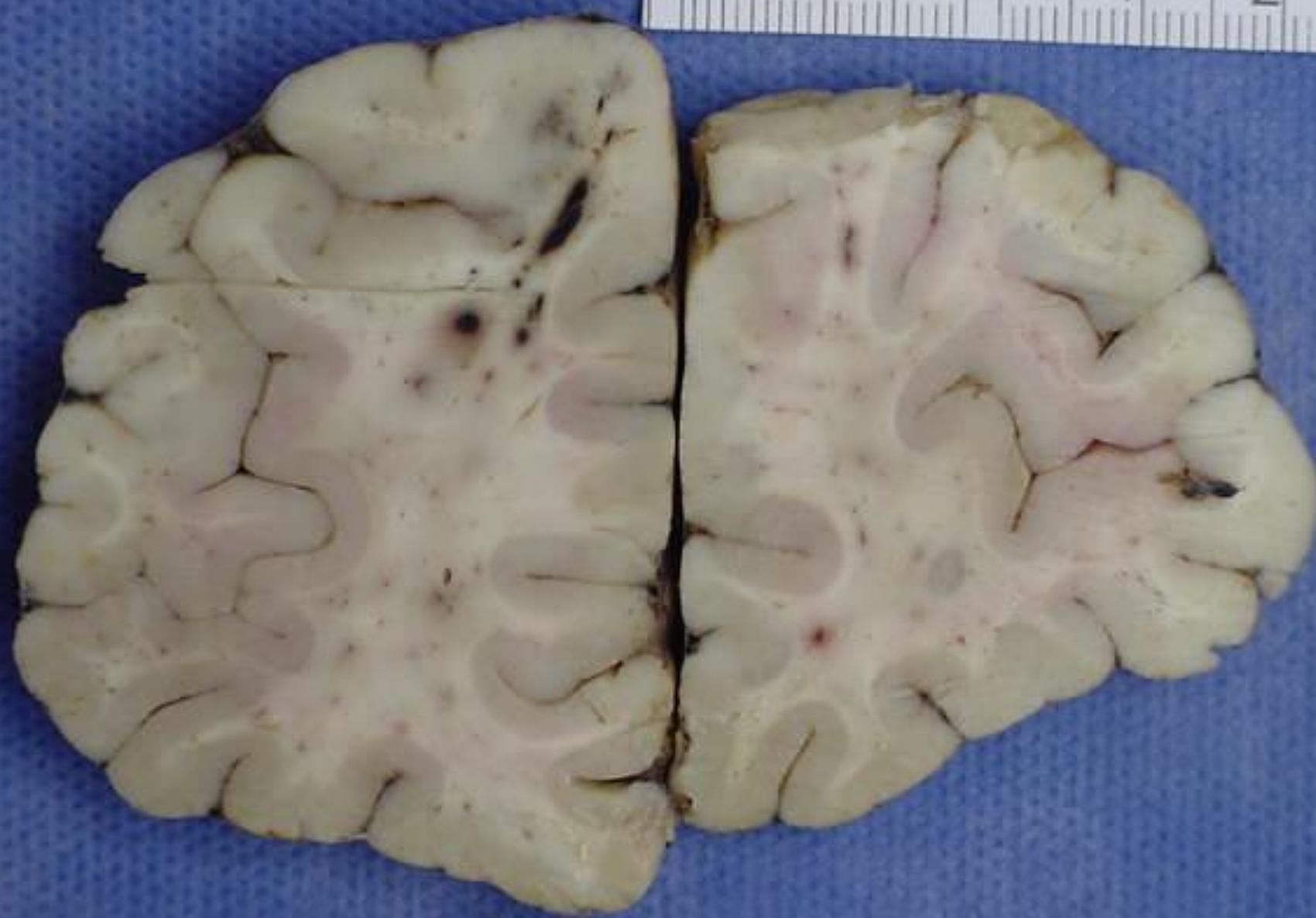




3886-2001



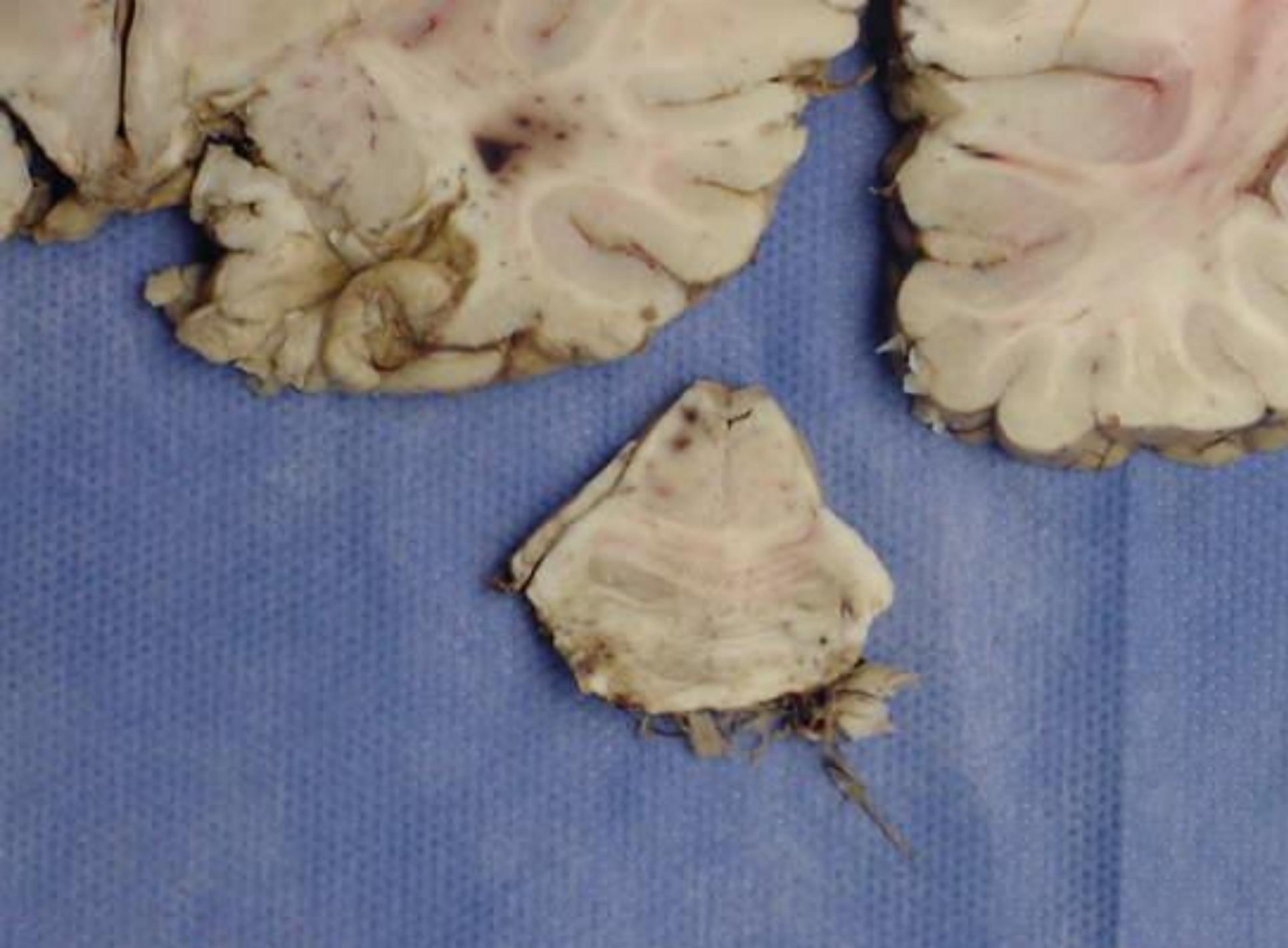
INSTITUTO DE MEDICINA  
LEGAL Y  
CIENCIAS  
FORENSES

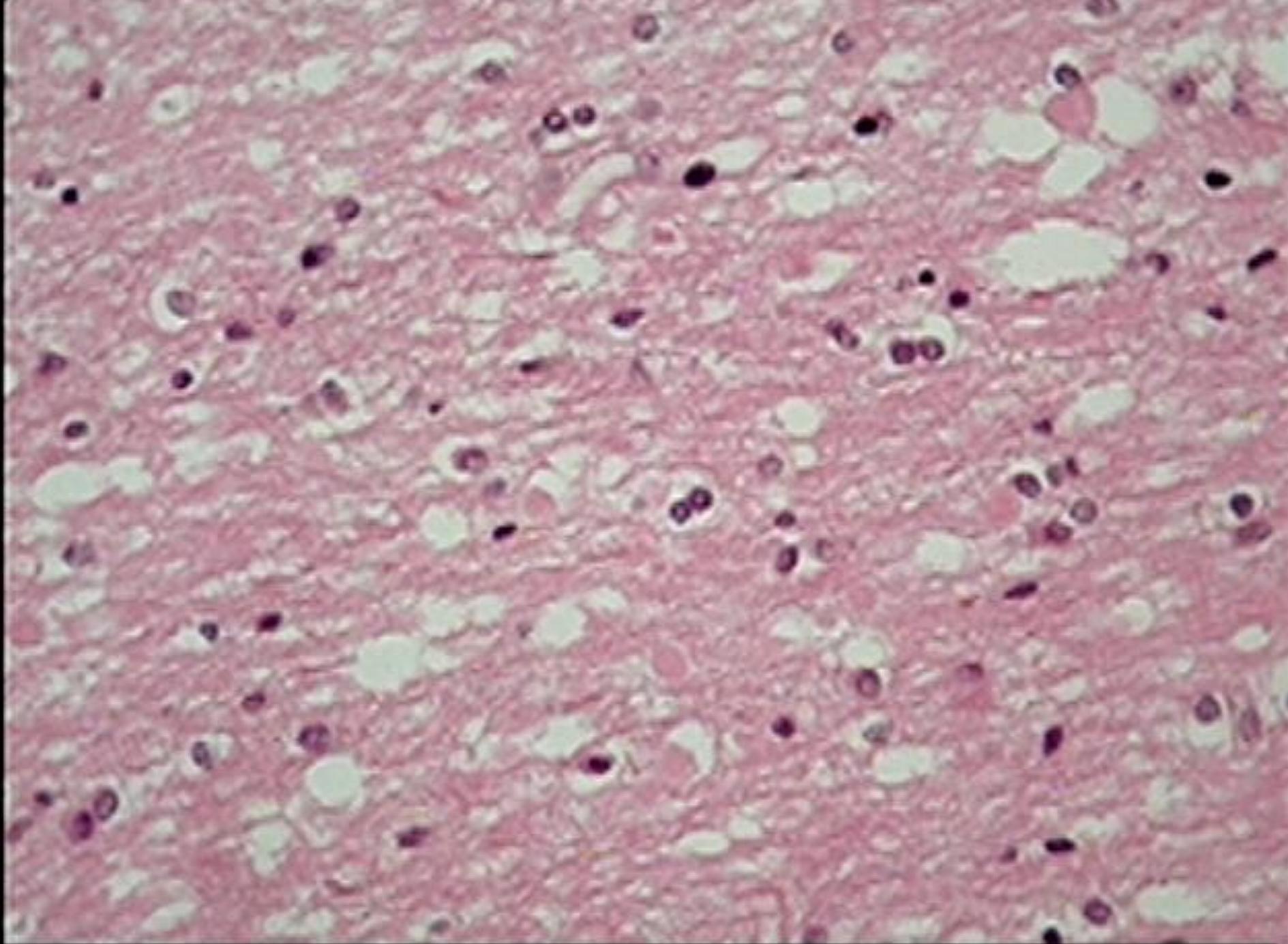


mm

1

2





# Arrastre tipo I



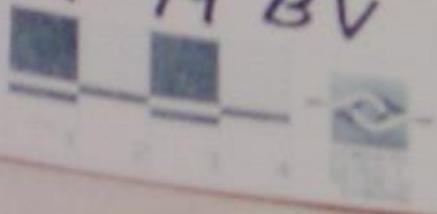
Arrest



# Arrastre



1787-99 BV



BOG 408M-03  
14  
Nov.



# Arrastre Tipo II



# ***Arrastre tipo II***



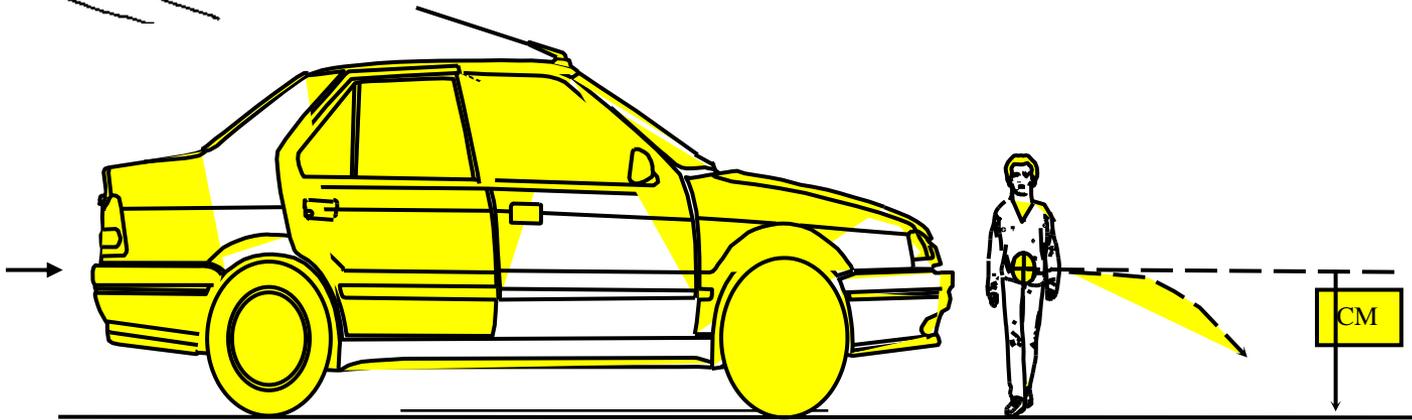
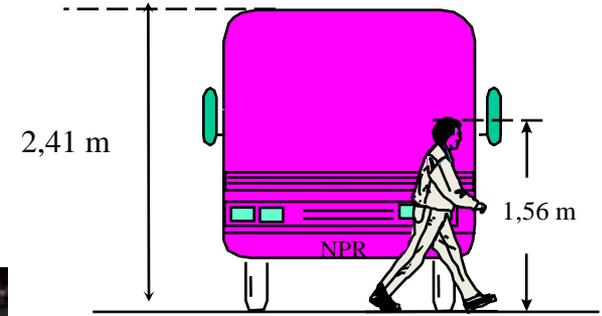


# APLASTAMIENTO





# Niño arrollado



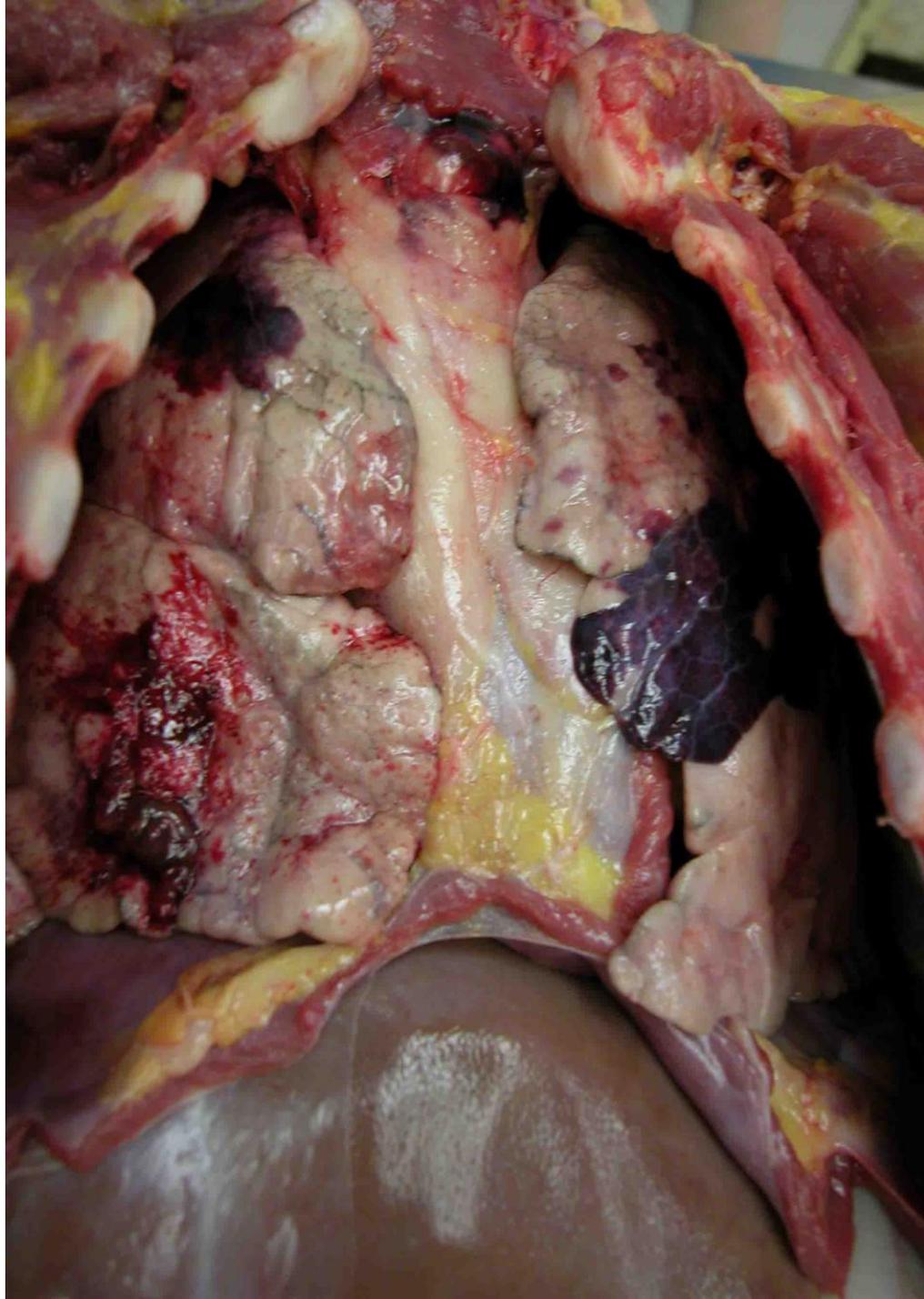




23905-04 GJ  
10  
Abot







BOG-2004-13194







