

*Estimación de la velocidad de impacto  
en motocicletas a partir de la  
deformación permanente.*



**Ingeniero Daniel François**

Perito de la Suprema Corte de Justicia de la Republica  
Oriental del Uruguay.

# Uruguay



19 Departamentos

**Población total: 3.174.817**

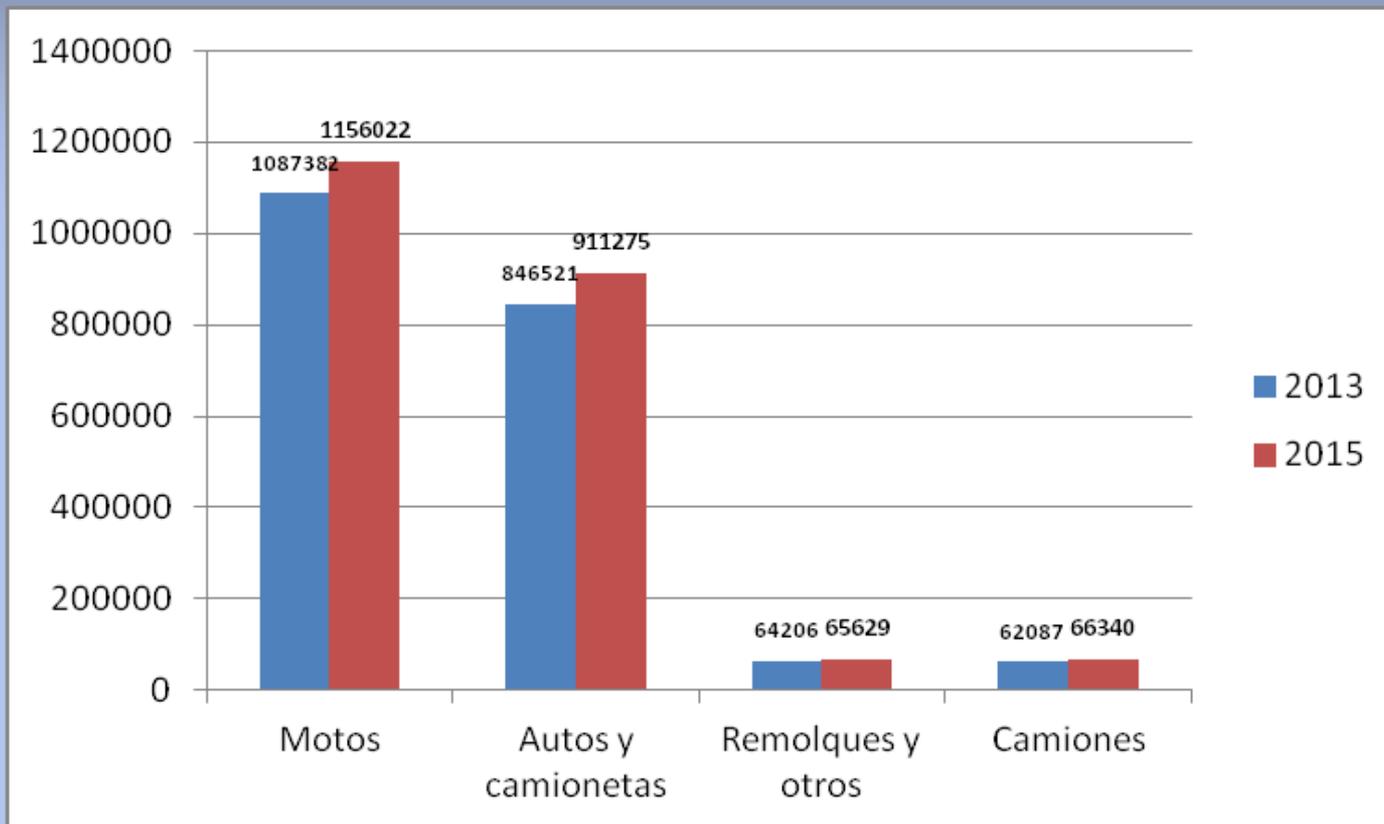
<b>Montevideo</b>	<b>1.278.268</b>
Artigas	72.960
Canelones	514.550
Cerro Largo	84.064
Colonia	121.462
<b>Durazno</b>	<b>56.789</b>
Flores	24.761
Florida	66.582
Lavalleja	58.395
Maldonado	160.776
Paysandú	112.454
Río Negro	54.118
Rivera	102.773
Rocha	66.506
Salto	123.880
San José	105.402
Soriano	81.510
Tacuarembó	89.567

Población por departamento

**Montevideo:1.278.268 41%**

# Parque automotor del Uruguay

## Años 2013 - 2015



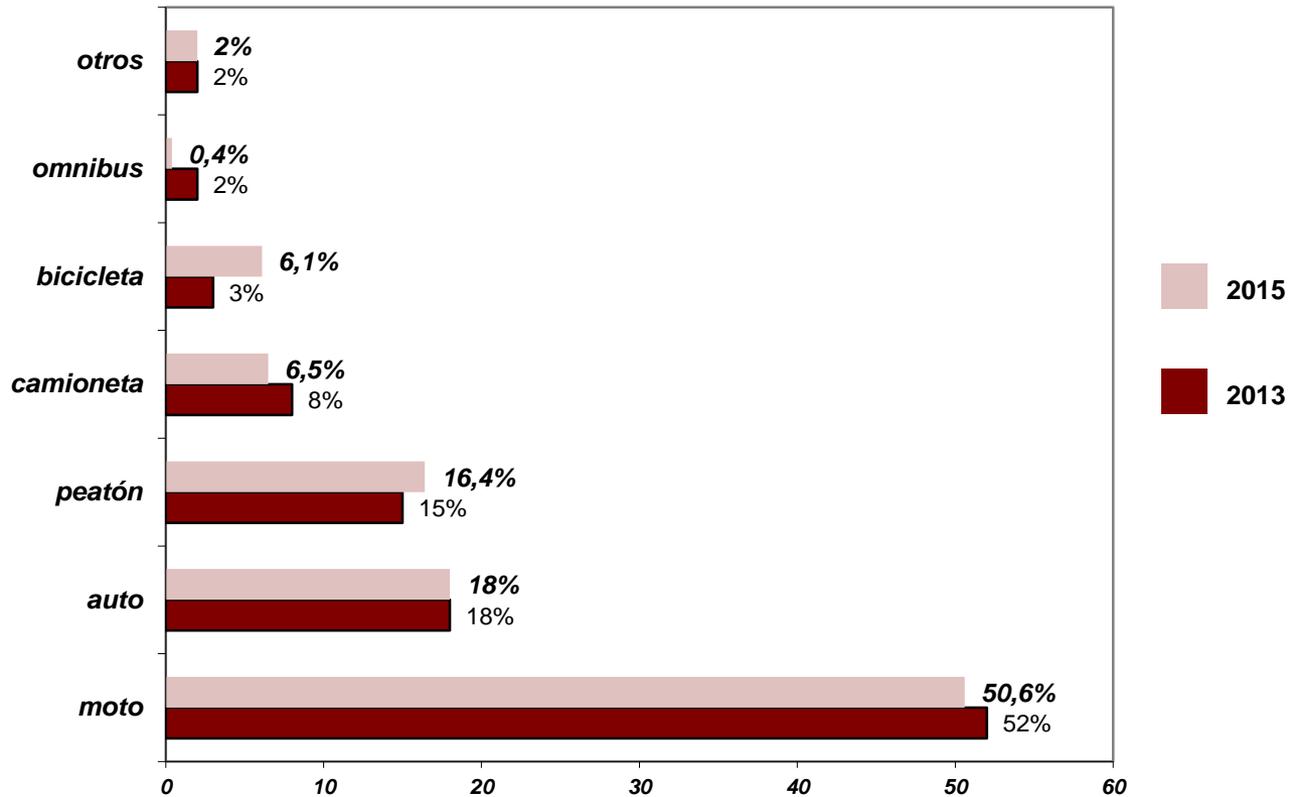
<b>Motos</b>	53%
Autos y Camionetas	41%
Camiones y Otros	6%

**EVOLUCION DE LA TASA DE MORTALIDAD PROMEDIO DE URUGUAY  
cada 100.000 habitantes**



- *promedio es de 14,6 /100.000 hab*La tasa de mortalidad
- Quince departamentos tienen una tasa mayor y cuatro departamentos una tasa menor.
- El departamento con menor tasa de mortalidad es Treinta y Tres con **7,4**
- El departamento con mayor tasa de mortalidad es Rocha con **21,7**

**MORTALIDAD SEGUN MODO DE TRANSPORTE**  
años 2013 y 2015 (en porcentaje %)



- El promedio de la mortalidad de conductores de motocicletas es de **50,6%** en siniestros ocurridos en rutas y áreas urbanas.

# *Ensayos de choque en automóviles*

- 1973 -1974      Raymond Mc Henry desarrolla SMAC primer programa computarizado para simular colisiones en automóviles. Kenneth Campbell presenta el primer modelo clásico de deformación en automóviles a partir de ensayos de barrera. La velocidad de impacto es función lineal de la deformación.
- 1975              En base a una corrección del trabajo de Campbell, Mc Henry desarrolla CRASH 1.
- 1978 – 1980      Desarrollo de CRASH 2 distribuido por la NTHSA
- 1981              Desarrollo de CRASH 3 distribuido por NTHSA
- 1986              Comienzan las aplicaciones comerciales para PC
- 1990              Strother reformula y modifica la ecuación de energía de Mc Henry usada en Crash 3 y Alope Prasad reformula el algoritmo de cálculo, validando su trabajo con una serie de ensayos de choque.

*Estos modelos denominados “clásicos” utilizan algoritmos derivados de los desarrollos de Mac Henry y Prasad, los cuales se basan en el trabajo de Campbell. Permiten evaluar la fracción de energía cinética que se transforma en energía de deformación mecánica en el impacto.*

# Ensayos de choque en motos

- 1970 Severy realiza los primeros ensayos de choque en motocicletas  
Ensayo Honda CL 90, CB 350, CB 750 contra automóviles estacionados a velocidades de entre 32 km/h a 65 km/h.  
  
“El acortamiento permanente de la distancia entre ejes de la motocicleta como resultado de la colisión varió linealmente con la velocidad de colisión y no parece estar afectada significativamente por las variaciones de tamaño de la motocicleta ni por la localización del impacto (en el automóvil)”.
- 2002 Adamson ensaya 17 motocicletas contra barrera y automóviles estacionados
- 2000 -2004 Priester y Weyde realizan ensayos de choque con scooters y motocicletas en Berlin contra automóviles estacionados.
- 2005 Ensayos de Kasanicky de choque de motocicletas contra automóviles estacionados.
- 2009 Wood y asociados examinaron el comportamiento del choque frontal de motocicletas y scooters. Obteniendo una aproximación al cálculo de la velocidad a partir del acortamiento permanente de la distancia entre ejes, el cual puede ser usado para motocicletas y scooters.

*Se expone aquí un procedimiento simplificado, basado en este trabajo, para ser usado en la estimación de la velocidad de impacto de motocicletas contra automóviles de una forma sencilla.*

# Geometría del conjunto delantero de una motocicleta



- Chasis tubular simple de acero que tiene en su parte delantera una pieza tubular denominada “pipa”.
- La horquilla telescópica va montada sobre la pipa de dirección.
- La horquilla delantera comprende la rueda delantera con su eje y dos botellas telescópicas en las que se ajustan un par de barras de acero cromado las que se anclan a las “tijas” que se sitúan en la parte superior e inferior de la columna de dirección. En las botellas se alojan los elementos de suspensión hidráulica.

*Este sistema es el mas empleado en la manufactura de motocicletas y scooters y en términos de producción domina el mercado desde la década de 1950.*

# *Ensayos de choque en motos - descripción:*



Severy describe el proceso de colapso del conjunto delantero en sus ensayos de la siguiente manera:

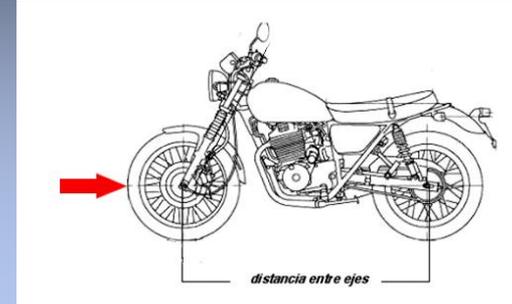
- La rueda delantera contacta contra la parte opuesta metálica del automóvil y se produce un aplastamiento inicial del neumático, acompañado de una deformación en la chapa del auto y en la horquilla de la motocicleta.
- Esto se acompaña con la desaceleración completa del conjunto de la rueda delantera, generalmente sin una distorsión significativa de la rueda.
- A continuación aumenta la deformación en la chapa del automóvil y se deforma hacia atrás la horquilla y el conjunto de la suspensión delantera de la motocicleta.

# *Ensayos de choque en motos - descripción:*



- Simultáneamente la principal masa de la motocicleta (todas las partes que quedan por detrás de la rueda delantera y la suspensión) continúa hacia adelante con una moderada desaceleración.
- Hasta que se produce el contacto de la parte delantera motor con la parte posterior de la rueda delantera.
- Para bajas velocidades de impacto esto constituye la fase final del colapso. Para velocidades de impacto de 30 mi/h (48 km/h) y mayores con el lateral del automóvil la rueda delantera de la moto se deforma en forma permanente e incluso colapsa por completo en ciertos casos...”

# Desarrollo del modelo teórico

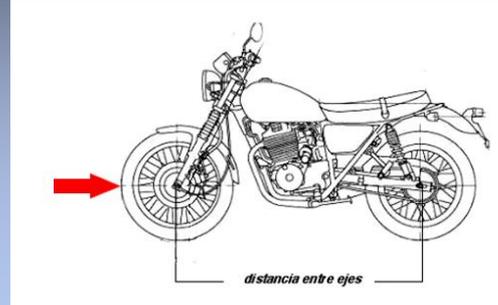


Si consideramos un impacto plástico de una motocicleta contra una barrera infinitamente rígida tenemos :

$$E_{cab} = \frac{1}{2} \cdot M_{mc} \cdot V_{mc}^2 = F_p \cdot d_{wb} \quad (1)$$

Donde:  $F_p$  es la fuerza de impacto  
 $d_{wb}$  es el acortamiento de la distancia entre ejes  
 $E_{cab}$  es la energía cinética absorbida en el impacto  
 $M_{mc}$  es la masa de la motocicleta  
 $V_{mc}$  es la velocidad de colisión de la motocicleta

# Desarrollo del modelo teórico



Dividiendo (1) por la masa de la motocicleta:

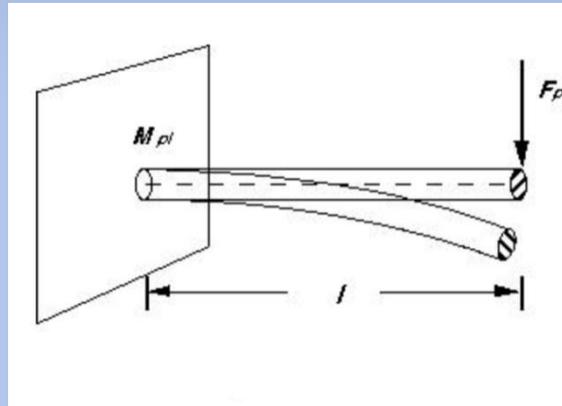
$$E_{esp} = \frac{E_{cab}}{M_{mc}} = \frac{1}{2} \cdot V_{css}^2 = \frac{F_p}{M_{mc}} \cdot d_{wb}$$

Donde  $E_{esp}$  es la energía específica a la masa absorbida en el choque y es igual a  $E_{cab}/M_{mc}$  es la energía específica absorbida en el choque

$$E_{esp} = \frac{F_p}{M_{mc}} \cdot d_{wb}$$

# Desarrollo del modelo teórico

**Para el desarrollo del modelo Wood considera una viga de sección circular empotrada en un extremo que sufre una deformación plástica debido a la aplicación de la fuerza  $F_p$ :**



La fuerza  $F_p$  es proporcional a la tensión de fluencia en el estado plástico  $\sigma_p$  y al cubo del diámetro  $D^3$  de la viga para el caso de una sección circular.

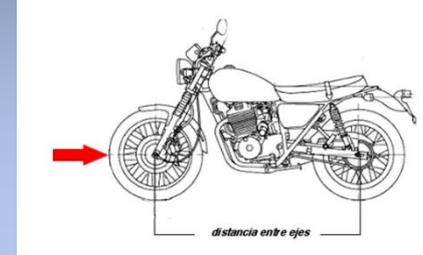
$$F_p \propto \sigma_p \cdot D^3$$

(El módulo plástico es  $W_{pl} = D^3/6$  para la sección circular)

# Desarrollo del modelo teórico

Nos queda la siguiente relación:

$$E_{esp} \propto \frac{\sigma_p \cdot D^3}{M_{mc}} \cdot d_{wb}$$



- Las deformaciones elásticas del montaje de la horquilla delantera ocasionadas por las sollicitaciones creadas por el uso de la motocicleta (giros, aceleraciones, frenadas, etc.) se pueden considerar de una magnitud similar para las distintas motocicletas a pesar de las diferencias de tamaño existentes.

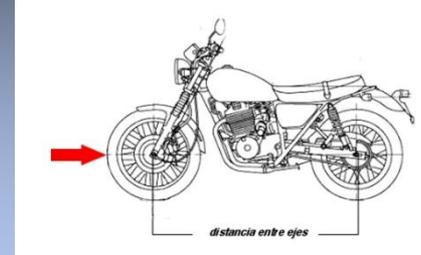
- De esto se deduce que la rigidez de la horquilla, o el momento de inercia de la sección, están vinculados a la masa en forma proporcional.

- Para la sección circular el momento de inercia de la sección circular es:  
 $\pi D^4/64$

- El modelo indica que la masa es proporcional al diámetro  $D^4$

# Desarrollo del modelo teórico

$$E_{esp} = \frac{E}{M} = \frac{1}{2} \cdot V_{css}^2 \propto \frac{\sigma_p}{D} \cdot d_{wb}$$



La energía específica es proporcional a:

- Al acortamiento de la distancia entre ejes  $d_{wb}$
- A la tensión de fluencia  $\sigma_p$
- Inversamente proporcional al diámetro del elemento considerado  $D$ .
- Relaciones similares se obtienen para secciones circulares huecas cuando la relación entre el espesor de la pared y el diámetro es baja.
- Esto indica que la energía específica de la población de motocicletas y scooters es función del material y de la configuración estructural de los vehículos, así como del acortamiento de la distancia entre ejes.

***La energía específica puede ser considerada sustancialmente como independiente de la masa y el tamaño de la motocicleta.***

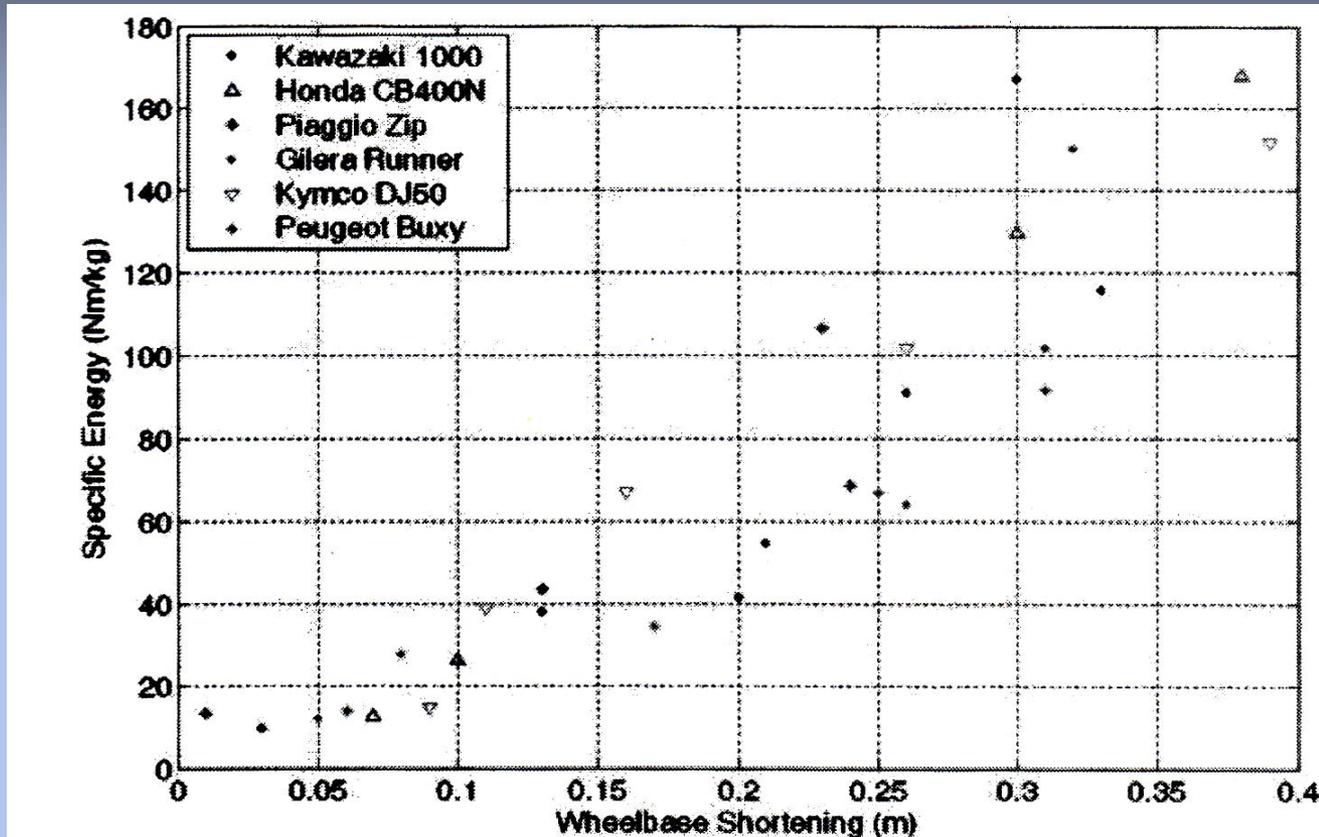
# *Análisis de los ensayos de choque*

- Se estudiaron 43 ensayos de barrera publicados.
- 18 fueron hechos con motocicletas y 25 con scooters.
- Los modelos son de 14 marcas diferentes con años de fabricación desde 1980 hasta 2009.
- Todos los ensayos fueron seleccionados de forma tal que el conjunto delantero del vehículo ensayado solo se deformó.
- La velocidad de los ensayos seleccionados varió entre los 10 km/h a los 76 km/h.
- De estos ensayos se seleccionó la siguiente serie :

# Análisis de los ensayos de choque

Test	Reference	Motorcycle or Scooter type	Speed(km/h)
1	Adamson <i>et al.</i> [13]	Kawasaki 1000 (1990)	16
2	Adamson <i>et al.</i> [13]	Kawasaki 1000 (1990)	31
3	Adamson <i>et al.</i> [13]	Kawasaki 1000 (1990)	33
4	Adamson <i>et al.</i> [13]	Kawasaki 1000 (1990)	38
5	Adamson <i>et al.</i> [13]	Kawasaki 1000 (1990)	49
6	Adamson <i>et al.</i> [13]	Kawasaki 1000 (1990)	66
7	Adamson <i>et al.</i> [13]	Kawasaki 1000 (1990)	55
8	Grandel <i>et al.</i> [11]	Hercules K 125	40
9	Grandel <i>et al.</i> [11]	Hercules K 125	45
10	Grandel <i>et al.</i> [11]	Hercules K 125	40
11	Priester and Weyde [24]	Piaggio NRG (S)	18
12	Priester and Weyde [24]	Piaggio NRG (S)	31
13	Priester and Weyde [24]	Piaggio NRG (S)	41
14	Priester and Weyde [24]	Piaggio NRG (S)	52
15	Priester and Weyde [24]	Piaggio NRG (S)	55
16	Priester and Weyde [24]	Piaggio Zip (S)	18
17	Priester and Weyde [24]	Piaggio Zip (S)	34
18	Priester and Weyde [24]	Piaggio Zip (S)	42
19	Priester and Weyde [24]	Piaggio Zip (S)	53
20	Priester and Weyde [24]	Gilera Runner (S)	18
21	Priester and Weyde [24]	Gilera Runner (S)	27
22	Priester and Weyde [24]	Gilera Runner (S)	41
23	Priester and Weyde [24]	Gilera Runner (S)	51
24	Priester and Weyde [24]	Gilera Runner (S)	62
25	Priester and Weyde [24]	Kymco DJ 50 (S)	20
26	Priester and Weyde [24]	Kymco DJ 50 (S)	32
27	Priester and Weyde [24]	Kymco DJ 50 (S)	42
28	Priester and Weyde [24]	Kymco DJ 50 (S)	51
29	Priester and Weyde [24]	Kymco DJ 50 (S)	63
30	Priester and Weyde [24]	Peugeot Buxy (S)	19
31	Priester and Weyde [24]	Peugeot Buxy (S)	30
32	Priester and Weyde [24]	Peugeot Buxy (S)	42
33	Priester and Weyde [24]	Peugeot Buxy (S)	49
34	Priester and Weyde [24]	Asprillia SR 50 (S)	19
35	Priester and Weyde [24]	Asprillia Rally (S)	31
36	Priester and Weyde [24]	Asprillia Rally (S)	39
37	Priester and Weyde [24]	Peugeot Speedfight 2 (S)	64
38	Priester [25]	Honda CB 400N	58
39	Priester [25]	Honda CM 400	76
40	Kasanicky <i>et al.</i> [23]	Yamaha XS 400	51
41	Kasanicky <i>et al.</i> [23]	Suzuki GSX 250	40
42	Kasanicky <i>et al.</i> [23]	Honda CB400N	26
43	Kasanicky <i>et al.</i> [23]	Honda CB400N	18
44	Kasanicky <i>et al.</i> [23]	Honda CB400N	66
45	Kasanicky <i>et al.</i> [23]	Suzuki GSX 250	71

# Grafica 1: Energía específica en función del acortamiento de la distancia entre ejes



- Se graficó la energía específica en función del acortamiento de la distancia entre ejes
- Se procedió a obtener las regresiones de cada uno de los seis vehículos ensayados.
- Se graficaron el conjunto de regresiones

# Modelos ensayados

1.- Kawasaki 1000 (7 ensayos)

Regresiones



$$\frac{E_{mc}}{m} = 1063.8 \cdot (d_{wb} + 0.21)^{3.3}$$
$$r^2 = 0.94$$

2.-Honda CB400N (4 ensayos)



$$\frac{E_{mc}}{m} = (506.5 \cdot d_{wb} - 23.54)$$
$$r^2 = 1.0$$

3.- Piaggio Zip (4 ensayos)



$$\frac{E_{mc}}{m} = 530.4 \cdot (d_{wb} + 0.1)^{1.68}$$
$$r^2 = 0.95$$

4.- Gilera Runner (5 ensayos)



$$\frac{E_{mc}}{m} = 299.2 \cdot (d_{wb} + 0.03)^{0.82}$$
$$r^2 = 0.95$$

5.- Kymco DJ 50 (5 ensayos)



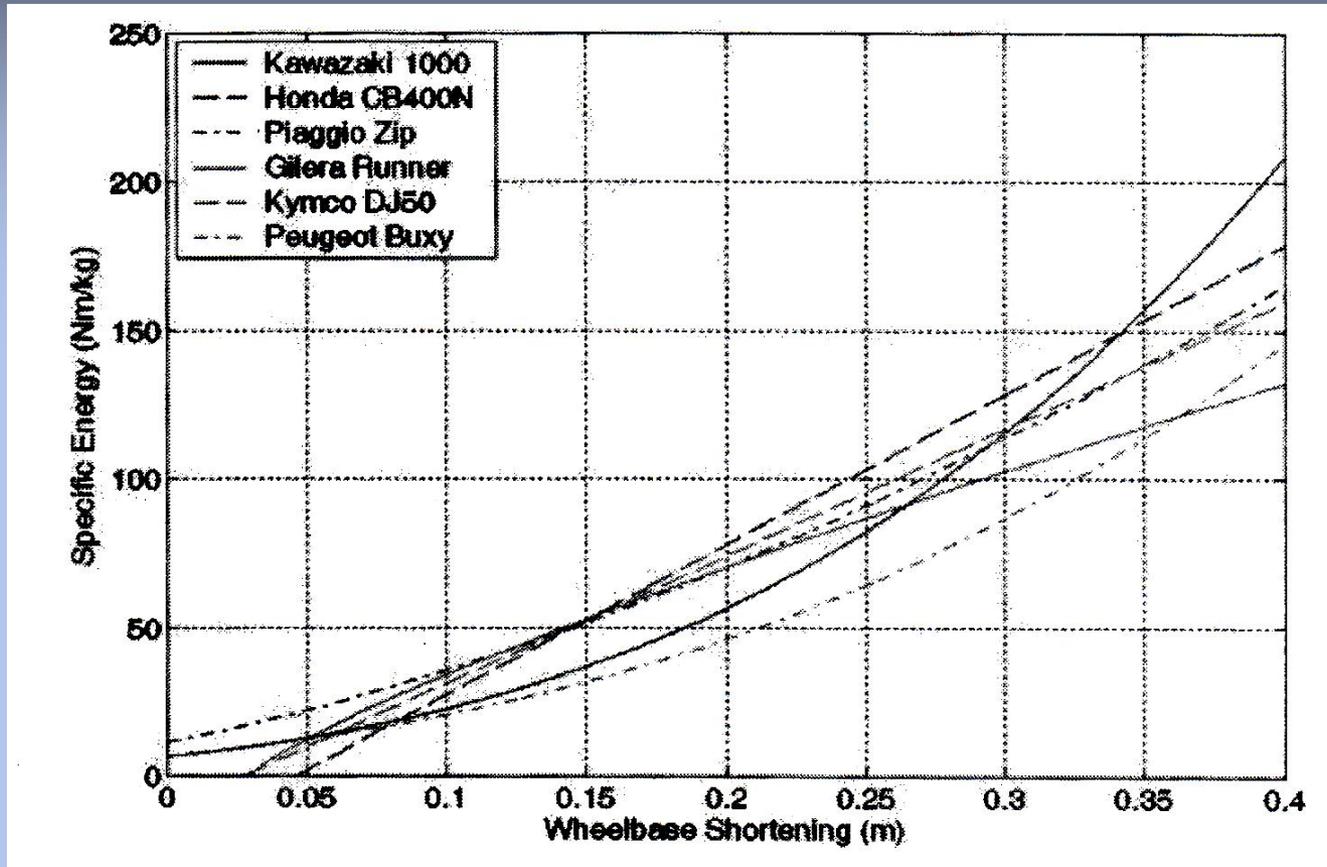
$$\frac{E_{mc}}{m} = (429.3 \cdot d_{wb} - 12.0)$$
$$r^2 = 0.98$$

6.- Peugeot Buxy (4 ensayos)



$$\frac{E_{mc}}{m} = 614 \cdot (d_{wb} + 0.21)^{2.91}$$
$$r^2 = 0.992$$

## *Grafica 2: curvas de regresión para la energía específica en función de la deformación*



*Una vez obtenidas cada una de las regresiones se procedió a realizar un análisis estadístico que permitió obtener las ecuaciones que caracterizan a cada tipo de vehículo: motocicleta y scooter*

# ***Resultados obtenidos***

## ***energía específica en función de la deformación***

**Para el conjuntos de las motocicletas:**

$$E_{mc}/M_{mc} = 733.2 (d_{wb} + 0.1)^{1.98}$$

**Para el conjunto de los scooters:**

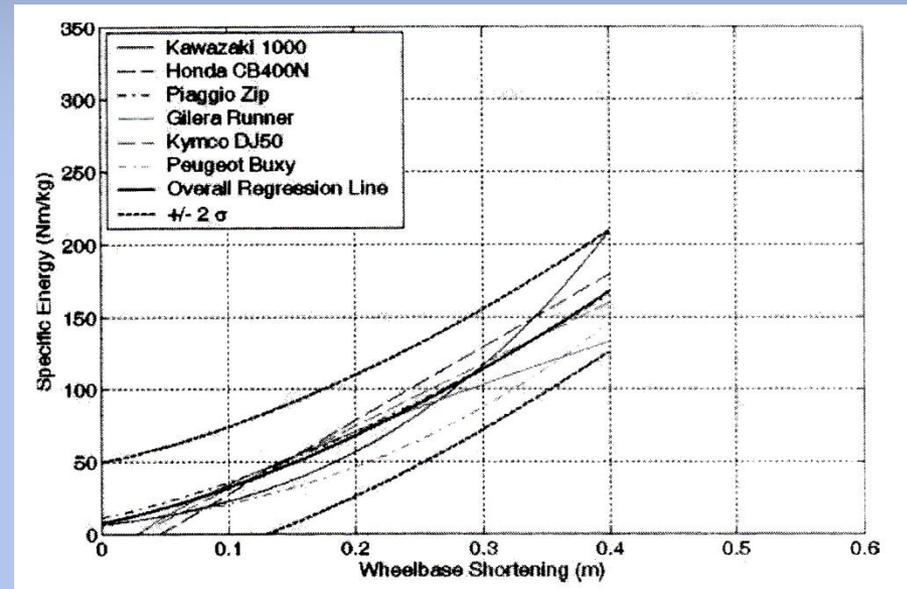
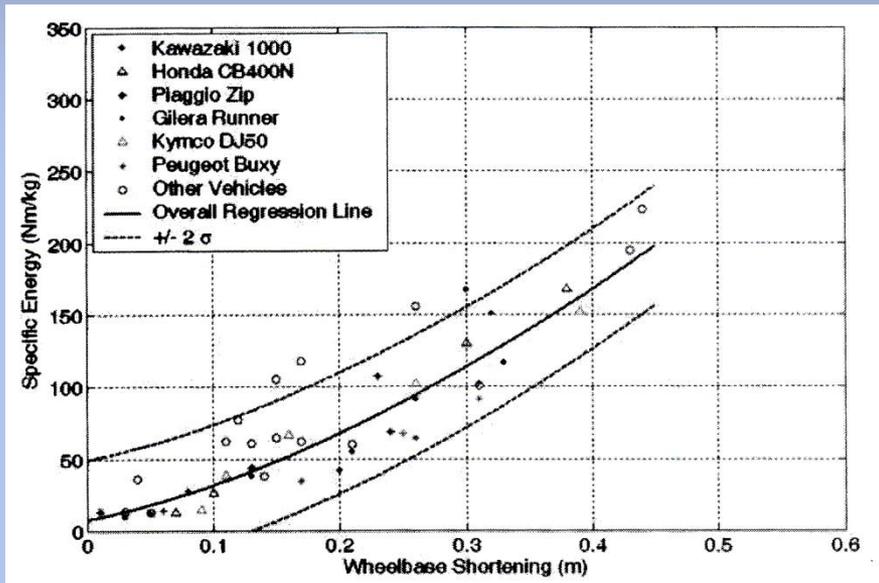
$$E_{mc}/M_{mc} = 569.6 (d_{wb} + 0.1)^{1.81}$$

**De estas dos se obtuvo la aproximación general siguiente:**

$$E_{mc}/M_{mc} = 641.7 (d_{wb} + 0.1)^{1.89}$$

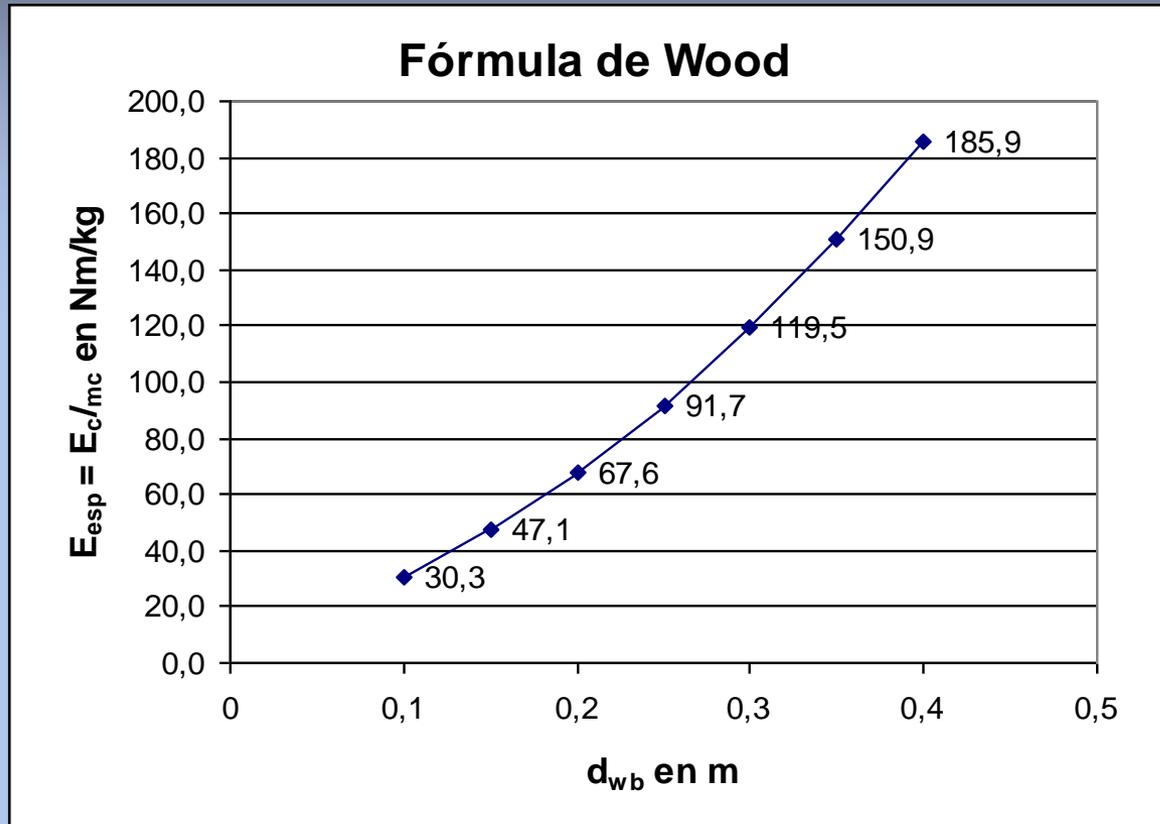
Se obtuvo que la diferencia entre los valores calculados por esta ecuación y los datos de los ensayos difiere en 2.98 Nm/kg, que la desviación estándar es de 20.64 Nm/kg y que la diferencia obtenida no es significativa,  $t = 0.94$ .

# Graficas 3 y 4



Las gráficas muestran la curva de regresión y un rango de confianza del 95%, con  $\pm 2\sigma$

# Grafica de la energía específica en función de la deformación para la población de motocicletas



$$E_{mc}/M_{mc} = 733.2 (d_{wb} + 0.1)^{1.98}$$

# ***Deformación en función de la velocidad***

***a partir de la formula anterior***

**Para obtener la recta que vincula la deformación con la velocidad establecemos:**

**La energía específica es:**  $E_{\text{esp}} = E_c / M_c$

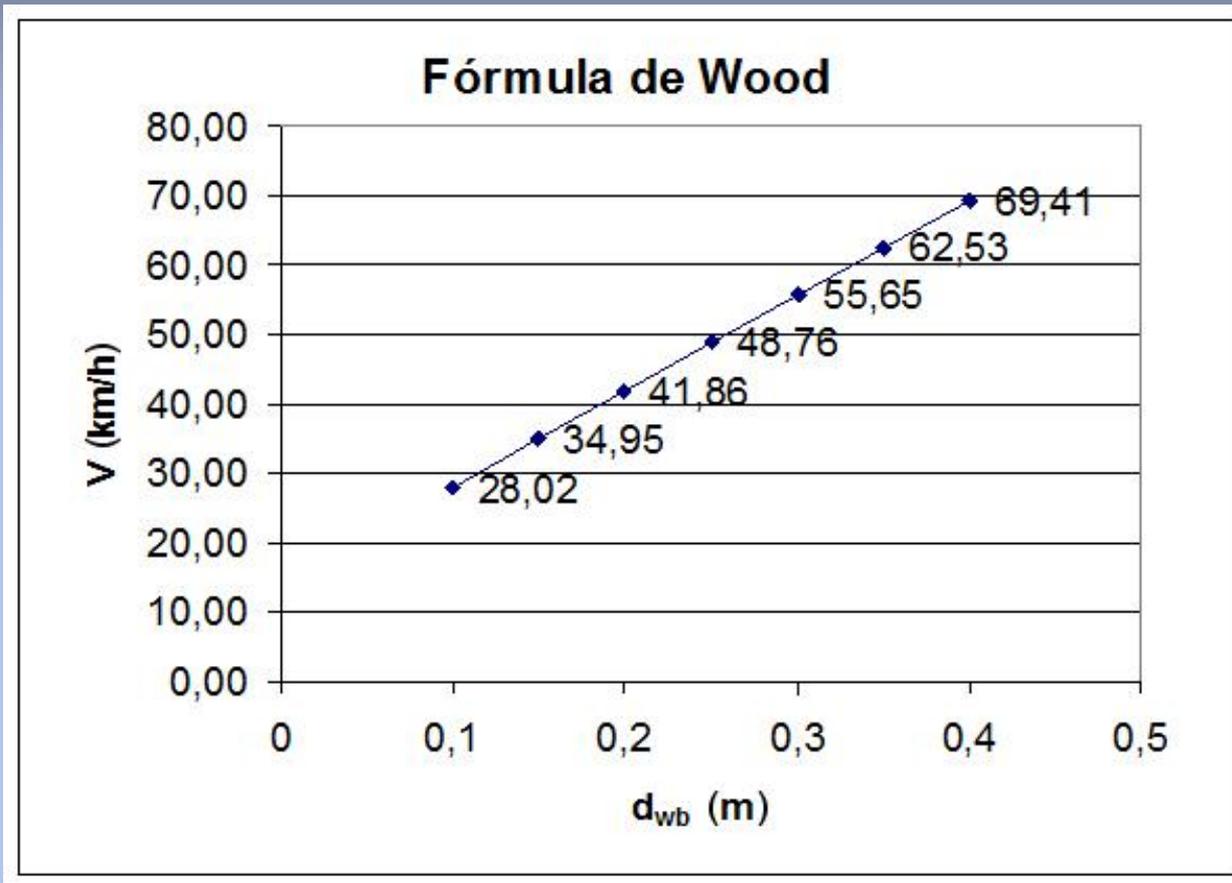
$$E_c = E_{\text{esp}} \cdot M_c$$

**La energía cinética es:**  $E_c = \frac{1}{2} M_c V^2$

**Igualando:**  $E_{\text{esp}} \cdot M_c = \frac{1}{2} M_c V^2$   
 $V = (2 \cdot E_{\text{esp}})^{\frac{1}{2}}$

A partir de los valores de la anterior gráfica construimos una nueva gráfica de la velocidad V en función de la deformación.

# *Grafica de la velocidad en función de la deformación para el conjunto de las motocicletas*



$$V = 137.97 \cdot d_{wb} + 14.22$$

# Formula de la velocidad en función de la deformación

Es la recta de ecuación:

$$V = 137.97 \cdot d_{wb} + 14.22$$

Donde:

V km/h

$d_{wb}$  m

Dwb	E/m	V en m/s	V en km/h	V recta	diferencia
0,1	30,3	7,8	28,02	28,02	0,00
0,15	47,1	9,7	34,95	34,92	0,03
0,2	67,6	11,6	41,86	41,81	0,04
0,25	91,7	13,5	48,76	48,71	0,05
0,3	119,5	15,5	55,65	55,61	0,04
0,35	150,9	17,4	62,53	62,51	0,02
0,4	185,9	19,3	69,41	69,41	0,00

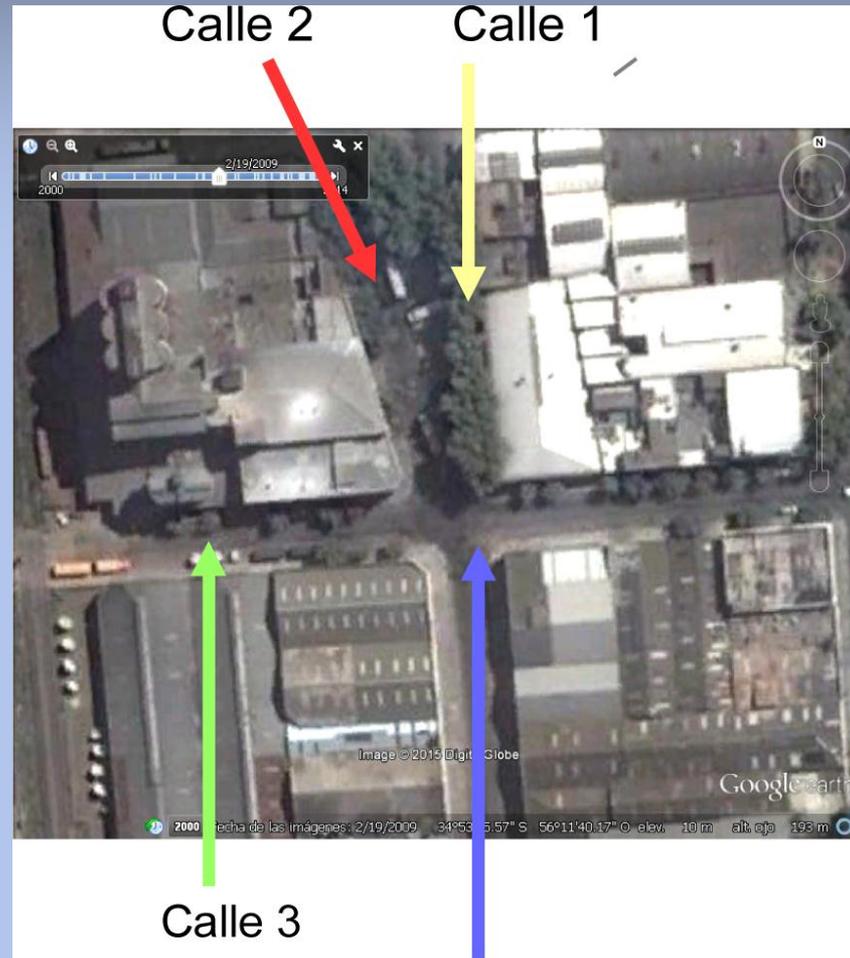
Comparación de valores entre la recta obtenida y las ecuaciones

## *Observaciones al método propuesto*

- El conjunto delantero de la motocicleta no debe haberse roto en el impacto debe haber sufrido una deformación plástica. Observando el parque de motocicletas vemos que en su mayoría la deformación máxima posible del conjunto delantero está acotado en deformaciones menores a los 0.4 m, luego de estas distancias la rueda se apoya contra el bloque del motor.
- Con deformaciones de hasta 0.4 m las velocidades máximas son de unos 70 km/h. Por nuestra experiencia con el parque de motocicletas de nuestro país es posible que a esas velocidades el conjunto delantero ya se haya quebrado en el impacto, lo cual invalidaría el uso de este método.
- El choque debe ser ortogonal y con una excentricidad baja respecto del centro de gravedad del automóvil.
- Este método se aplica a choques con velocidades relativamente bajas de la motocicleta, si bien es una aproximación muchas veces es importante tener una estimación de la velocidad de impacto

# Caso 1

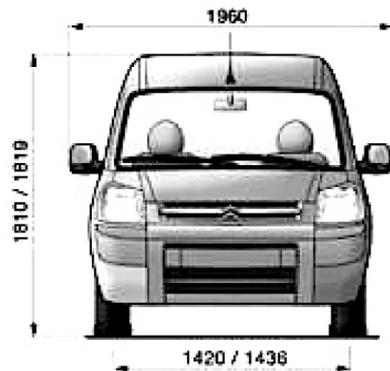
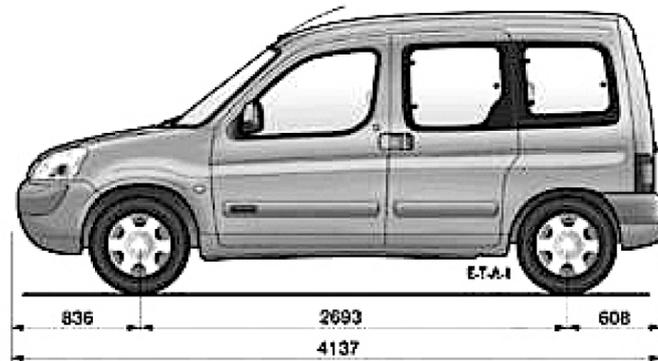
*Siniestro entre motocicleta y camioneta  
en una intersección urbana.*



**La flecha azul indica la intersección  
donde ocurrió el siniestro**

# Vehículos involucrados

Citroen Berlingo



**Altura:** 1819 mm  
**Ancho:** 1724 mm  
**Largo:** 4137 mm  
**Batalla:** 2693 mm  
**Peso:** 1336 kg

Winner CG 125



**Altura:** 1065 mm  
**Ancho:** 770 mm  
**Largo:** 1950 mm  
**Batalla:** 1235 mm  
**Peso:** 110 kg

## ***Datos de las personas involucradas en el siniestro.***

### **Persona No.1**

Edad: 48 años

Tipo: Conductor de la camioneta Citroen

Lesiones: sin lesiones

### **Persona No.2**

Edad: 44 años

Tipo: Acompañante de la camioneta Citroen

Lesiones: sin lesiones

### **Persona No.3**

Edad: 48 años

Tipo: Conductor de la motocicleta Winner

Lesiones: Traumatismo grave de cadera y miembro inferior derecho

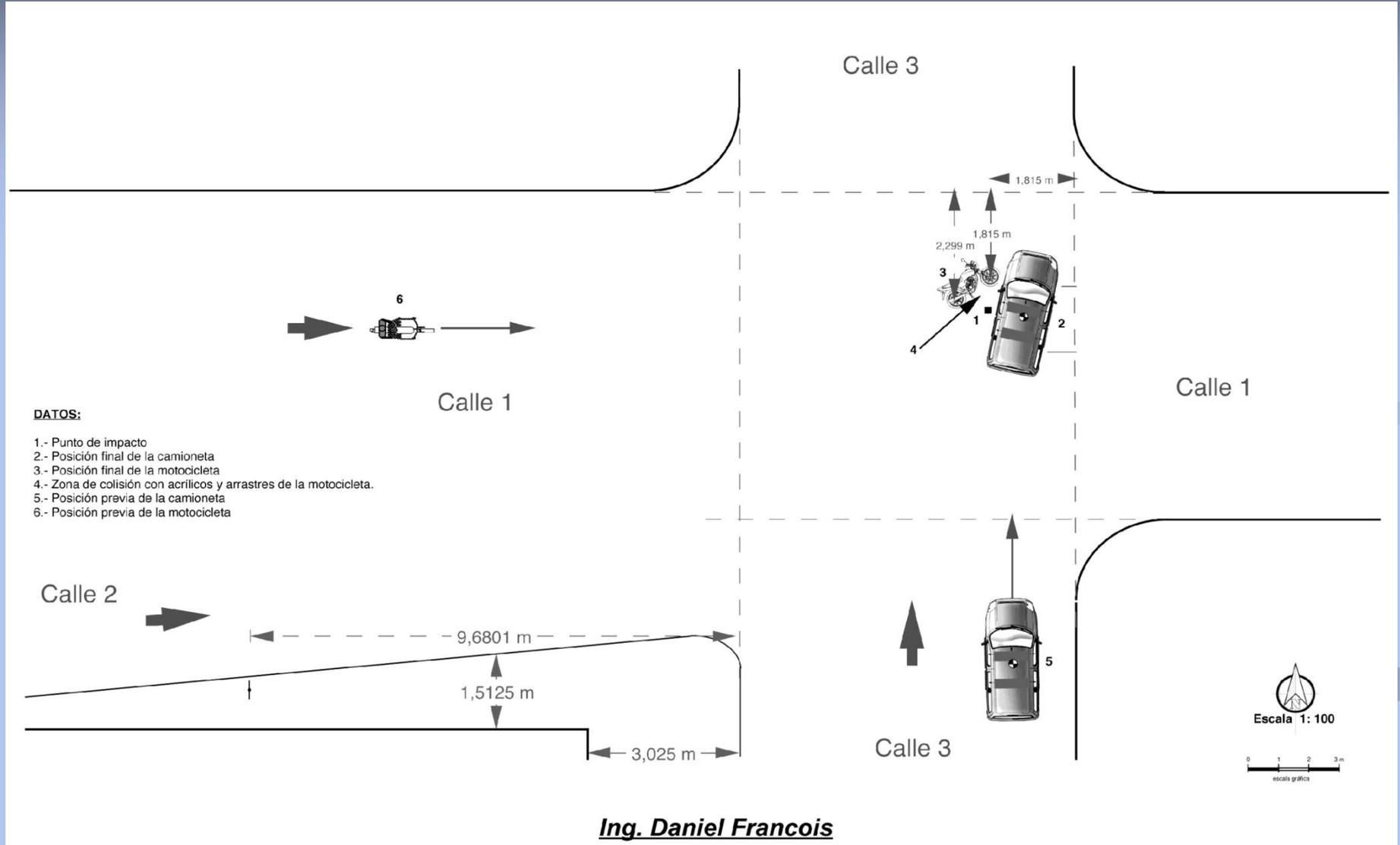
### **Persona No.4**

Edad: 54 años

Tipo: Acompañante de la motocicleta Winner

Lesiones: politraumatizada leve

# Planimetría del siniestro



**Ing. Daniel Francois**

# Fotografías del siniestro



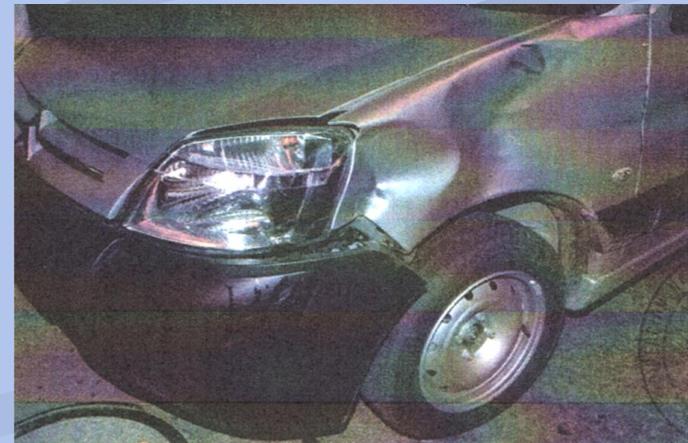
Fotografía No.1



Fotografía No.2

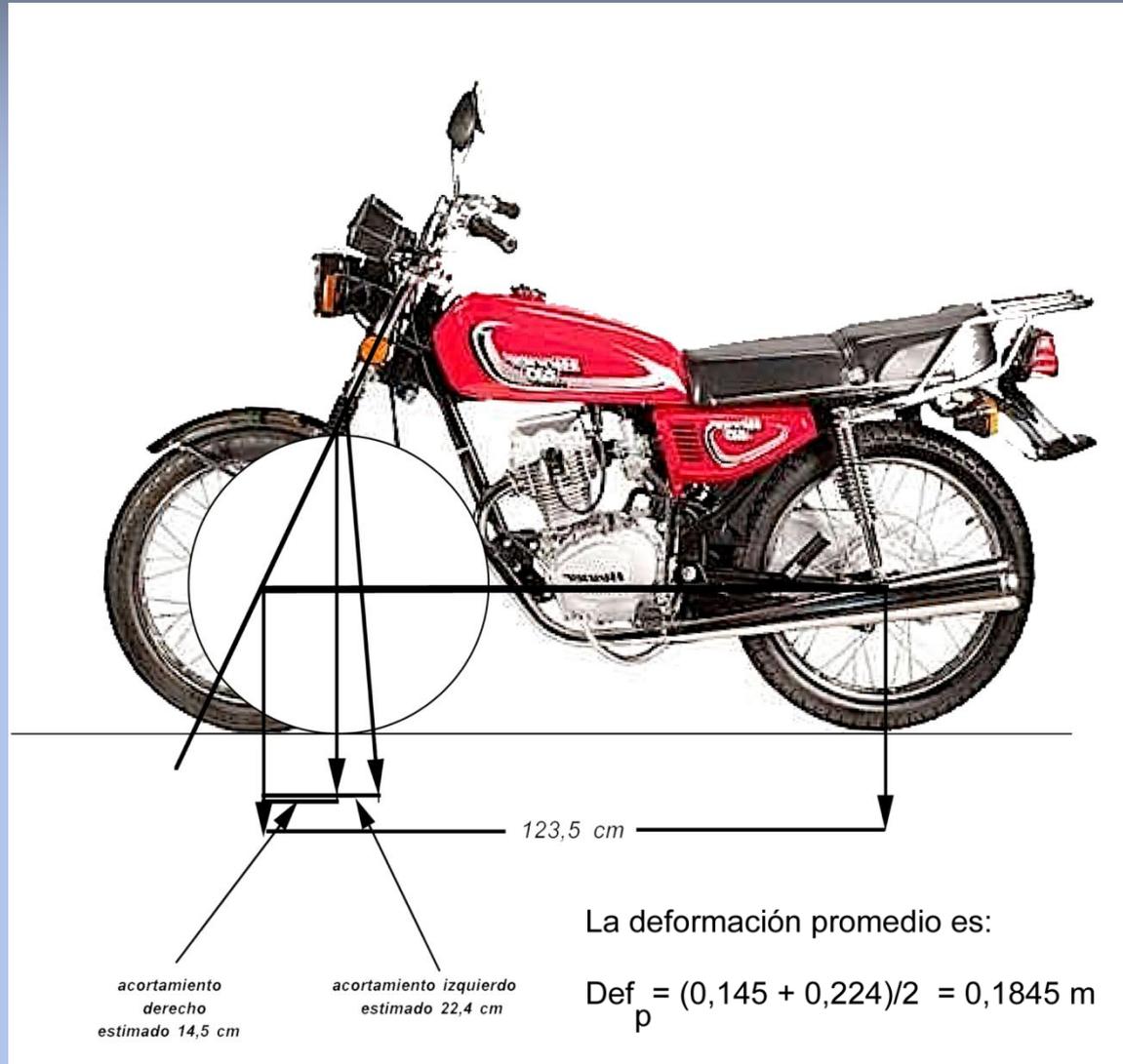


Fotografía No.3

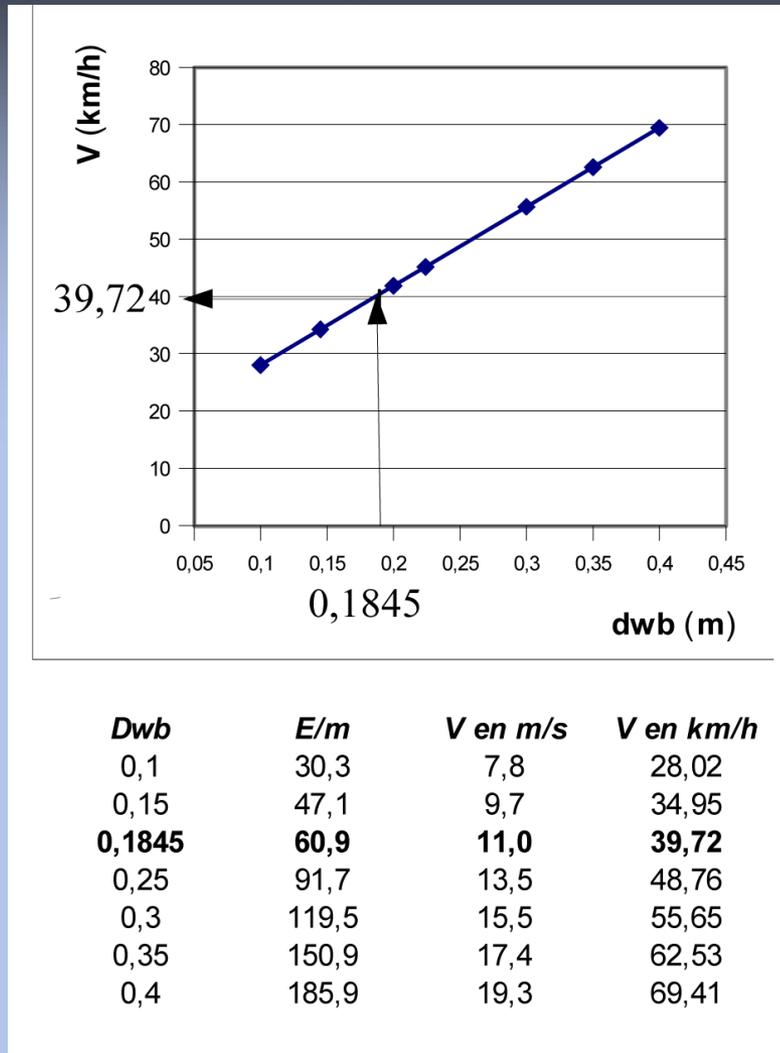


Fotografía No.4

# Estudio de la deformación del conjunto delantero de la motocicleta Winner CG125



# Estimación de la velocidad



<i>Dwb</i>	<i>E/m</i>	<i>V en m/s</i>	<i>V en km/h</i>
0,1	30,3	7,8	28,02
0,15	47,1	9,7	34,95
<b>0,1845</b>	<b>60,9</b>	<b>11,0</b>	<b>39,72</b>
0,25	91,7	13,5	48,76
0,3	119,5	15,5	55,65
0,35	150,9	17,4	62,53
0,4	185,9	19,3	69,41

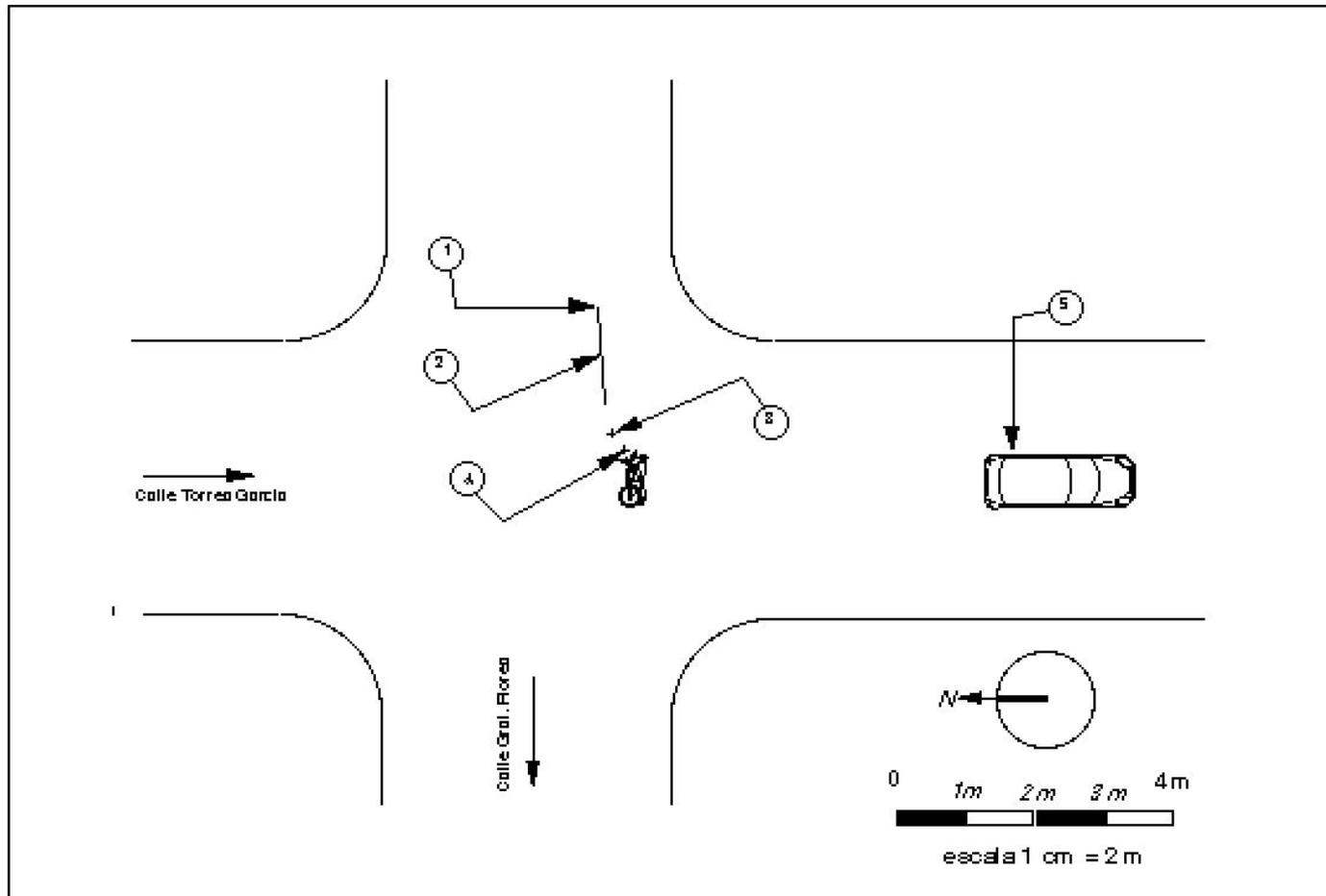
**La velocidad estimada es de 40 km/h**

## Caso 2: planimetría

### Posición final de los vehículos

Fecha: 13 de noviembre de 2005, hora aproximada: 20:10

Vehículos: Peugeot 307 Matrícula ACT 513, Kawasaki H 100 Matrícula AND 715



#### Referencias:

- 1 comienzo de la huella de frenada de la moto AND 715
- 2 huella de frenada largo 3 m
- 3 posible punto de impacto entre ambos vehículos
- 4 posición final de la moto AND 715
- 5 posición final del auto ACT 513

Perito: Ing. D. François

Croquis No.1

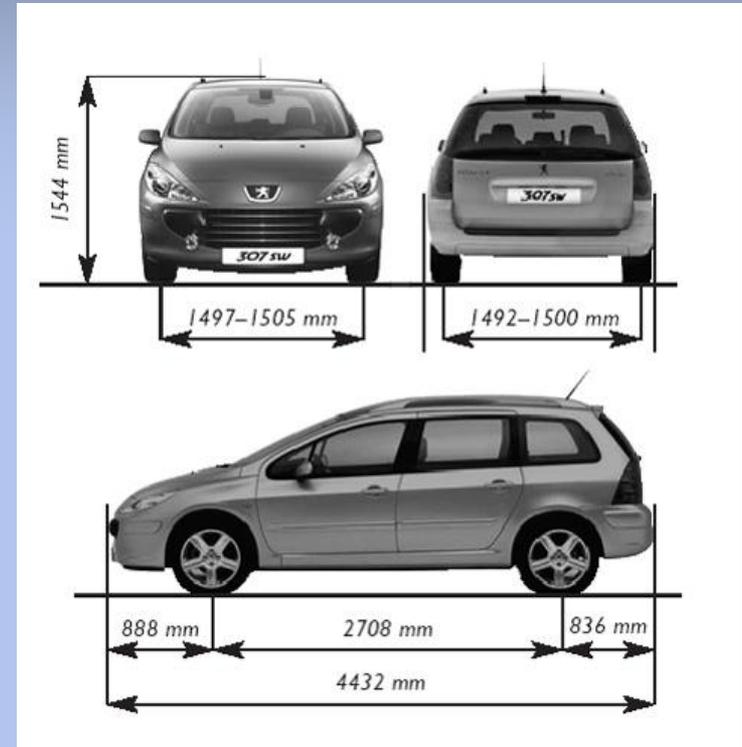
Escala: 1: 200

Fecha: 16 /10/2007

## *Caso 2: Impacto entre una motocicleta y un automóvil choque ortogonal en una intersección urbana*



**Kawasaki H100**



**Peugeot 307 SW**

Se procedió como en el caso 1, buscando los datos técnicos de la motocicleta

## ***Caso 2: Impacto entre una motocicleta y un automóvil ortogonal en una intersección urbana***



La rueda delantera aparece deformada y rota por el impacto, se había relevado una huella de frenada de 3 metros anterior al impacto.

## *Caso 2: Impacto entre una motocicleta y un automóvil ortogonal en una intersección urbana*

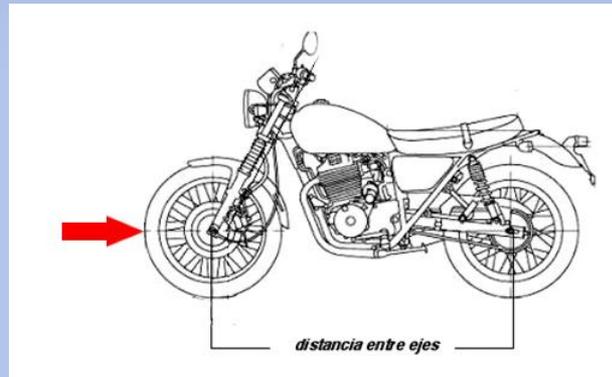


- Se procedió como en el caso No. 1 y se determinó una deformación de 0.32 m
- Esto brinda una velocidad de impacto de unos 16.1 m/h, lo que arroja una velocidad de unos 58 km/h.
- La velocidad de circulación era de unos 61 km/h a 63 km/h

# *Conclusiones*

- Caso 1: El motociclista se desplazaba a una velocidad de unos 40 Km/h.
- Caso 2: El motociclista se desplazaba a una velocidad superior a los 60 Km/h.

***Gracias a todos.***



***Ing. Daniel François***