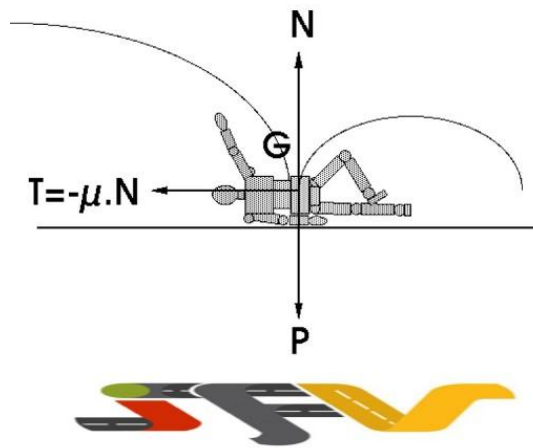




ingeniería Forense Vial

Método de Searle - Parte II Reconstrucción de Accidentes de Tránsito Aplicación al atropellamiento de peatones



Investigación – desarrollo – aplicación

Introducción

Este trabajo sobre el método de Searle presenta una aplicación práctica del mismo, los datos para realizar los cálculos están basados en un caso real ocurrido en Francia descrito en un trabajo del INRETS [1].

Se compara el resultado obtenido con los resultados del estudio de las huellas de frenada relevadas en el lugar del accidente.

Se estudia la incidencia del factor de impacto y de los parámetros que intervienen en la ecuación de cálculo de la velocidad mínima.

Aplicación práctica del método de Searle

En el citado artículo [1] se describe el caso de un atropellamiento de un peatón con las siguientes características:

“En un día de enero (invierno en el hemisferio norte), a las 9:00 a.m., con tiempo seco y soleado un Citroën Xantia era guiado a lo largo de una avenida en un área urbana. En la línea media de una de sus vías el vehículo colisiona con un hombre de edad (lado derecho del peatón) en un cruce peatonal.

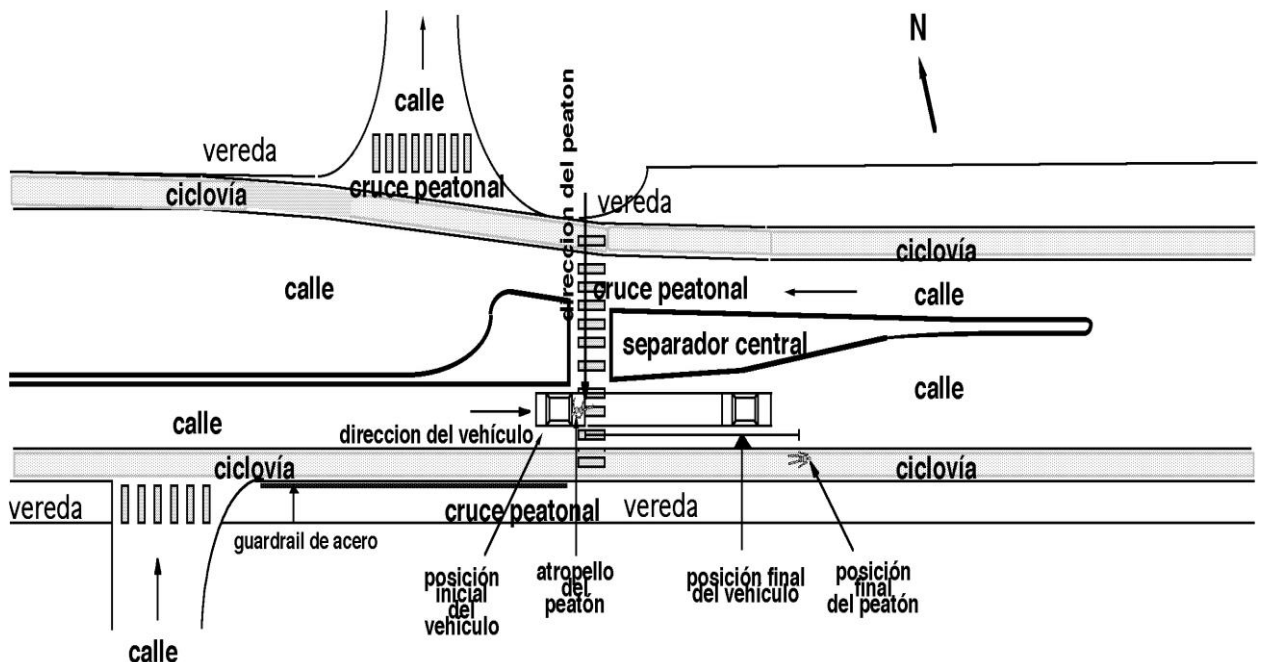
El vehículo realiza una frenada de emergencia durante el impacto dejando huellas de frenada marcadas en el pavimento. El peatón fallece en el choque”.

Personas involucradas

Conductor: declara una velocidad de unos 60 km/h en el momento del impacto.

Peatón: hombre, de 85 años, altura 1 m 65, masa: 75 kg.

Fallece en el impacto, fractura expuesta en el hombro derecho, fractura de costillas derechas, fracturas en ambos fémures, contusiones severas en la cara.



Planimetría 1 del lugar del accidente

Vehículo:

Citroën Xantia, masa 1322 kg.

Áreas de impacto (debidas al atropellamiento del peatón)

identificadas:

Capo área delantera

Capo parte posterior

Parabrisas parte inferior centro y derecha

Medio:

Pavimento asfáltico, seco.

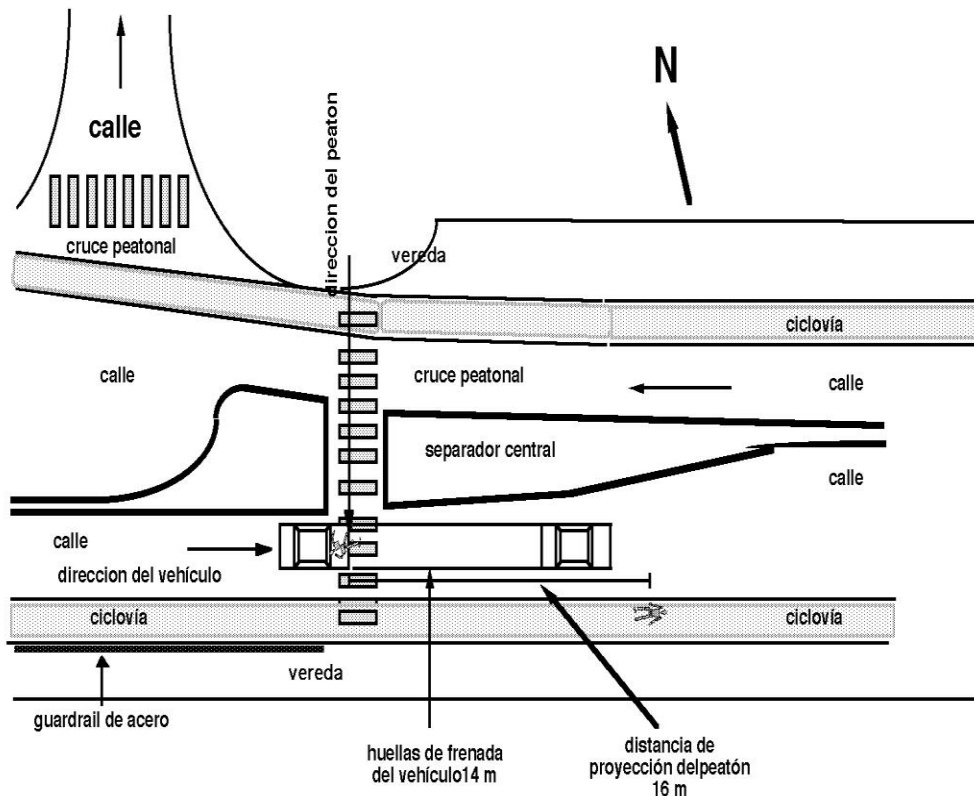
Huellas de frenada de emergencia: largo 14 m

Distancia de proyección del peatón: 16m

Observaciones:

Se estima que el vehículo llevaba una velocidad de aproximación antes del choque de unos 60 km/h y que la velocidad del vehículo en el momento del impacto era de unos 55 km/h.

En la figura siguiente se tiene un croquis del relevamiento realizado en el lugar del impacto.



Planimetría 2 del lugar del accidente

Cálculos:

Velocidad mínima

Aplicando la ecuación que nos da la velocidad mínima:

$$v_{0\min} = \sqrt{\frac{2 \cdot \mu \cdot g \cdot (S - \mu \cdot H)}{1 + \mu^2}} \quad (1)$$

Donde: $\mu = 0,66$ asfalto seco
 $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
 $S = 16 \text{ m}$
 $H = 1\text{m}$, altura del peatón 1 m 65

Obtenemos:

La velocidad mínima es $V_{omin} = 11.76 \text{ m/s}$
 $V_{omin} = 42.34 \text{ km/h}$

Velocidad Máxima

La velocidad máxima está dada por la ecuación

$$v_{0\max} = \sqrt{2 \cdot \mu \cdot g \cdot (S - \mu \cdot H)} \quad (2)$$

Usando los mismos valores de las variables que en el caso anterior obtenemos:

$$V_{omax} = 14.09 \text{ m/s}$$

La velocidad máxima es $V_{omax} = 50.74 \text{ km/h}$

Según el método de Searle a estas velocidades hay que aplicarles el factor de impacto EP, para un peatón adulto y un vehículo con frontal bajo EP es 64% o sea que $V_v = 1,5625 V_o$
 Esto nos daría los siguientes valores de las velocidades:

$$V_{vmin} = 66.15 \text{ km/h}$$

$$V_{vmax} = 79.28 \text{ km/h}$$

Vamos a corroborar estos valores calculados con el cálculo de la velocidad del vehículo a partir de las huellas de frenado.

La ecuación básica de frenado es:

$$V = \sqrt{2 \cdot \mu \cdot g \cdot d} \quad (3)$$

donde:

$\mu = 0.8$ es el coeficiente de rozamiento neumático – suelo para asfalto nuevo y seco
 $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
 $d = 14 \text{ m}$ distancia relevada de las huellas de frenado

obtenemos: $V = 53.37 \text{ km/h}$

Si aplicamos la ecuación básica de frenado corregida por un factor $C = 1.27$ ver anexo I de acuerdo con [4]

$$V = \sqrt{2 \cdot \mu \cdot g \cdot d} \quad (4)$$

obtenemos: $V = 16.71 \text{ m/s}$
 $V = 60.14 \text{ km/h}$

Estos resultados son coherentes con la velocidad del vehículo de 60 km/h al iniciar la maniobra de frenado, vamos a suponer que ésta es la velocidad real:

Entonces los resultados del método de Searle se alejan de este valor en:

$$Er\% = (66.15 - 60) / 60 = + 10.2 \%$$

Esto nos da una velocidad calculada por el método de Searle mayor que la que suponemos como real en un 10% usando la velocidad mínima V_{vmin} .

Este resultado parece estar de acuerdo con observaciones realizadas por Wood [3], quien indica que el método brinda en la práctica resultados mayores de la velocidad que los resultados obtenidos de ensayos reales de atropellamiento (ver anexo II) Wood indica que el valor de μ usado por Searle es alto, he indica un factor EP de 1.2, valor menor que el de 1.5625 que se indica en el trabajo original de Searle [1].

Podemos concluir que en el cálculo realizado la variación en el factor EP incide en la variación los resultados.

Al ser un factor empírico que ajusta los resultados a las curvas de Appel no hay mayores posibilidades de variarlo o ajustarlo sin más información.

Solo podemos afirmar que en este caso particular el coeficiente EP debería ser:

$$V_v = 1.4171 \cdot V_o$$

$$EP = 71 \%$$

Este valor se acerca al de 77.5 indicado por Searle como el EP combinado de los diferentes casos estudiados.

Incidencia en V_o de los distintos parámetros que intervienen en la ecuación (1)

Incidencia del factor μ

Searle indica en su trabajo original [1] que el coeficiente de fricción μ de un peatón con ropas normales que desliza sobre un pavimento se encuentra en los entre los valores de 0,66 (asfalto) y 0,79 (pasto) y que éste no presenta variaciones sustanciales entre una superficie húmeda y otra seca, basado en mediciones realizadas para determinar este coeficiente.

En 1989 se realizaron en el Reino Unido una serie de ensayos para determinar el valor de μ , mediante muñecos de prueba (dummies) deslizando sobre la superficie asfáltica de un aeropuerto, vestidos con diferentes tipos de ropa [3].

El coeficiente resultante obtenido en estos ensayos varió entre 0,57 y 0.9, el menor coeficiente μ hallado lo produjo la ropa de nylon de un conjunto de motociclista.

Un coeficiente de 0.7 a 0.8 puede considerarse adecuado para un pavimento asfáltico y un peatón con ropas normales.

En el rango mencionado de variación del coeficiente μ la variación de la velocidad mínima es del orden de $\pm 3\%$.

$\mu = 0,57$	$V_o = 41.08 \text{ km/h}$	$Er\% = - 2,98\%$
$\mu = 0,66$	$V_o = 42.34 \text{ km/h}$	
$\mu = 0,90$	$V_o = 43.69 \text{ km/h}$	$Er\% = + 3,22\%$

Con coeficientes por debajo de 0,5 resultan diferencias porcentuales mucho mayores, hasta de un 25% con $\mu=0,2$, tomando como valor medio $\mu=0,4$.

Como la derivada de la función (1) respecto de μ es una función del tipo hipérbola la variación de la función (1) con este parámetro es menor a valores mayores de μ Incidencia del ángulo de proyección

Incidencia del ángulo de proyección

En estudios de campo realizados se indica que el ángulo de proyección se encuentra muy raras veces por encima de 40° . En la ecuación de $V_{o\ max}$ para un valor de $\mu= 0,7$ el ángulo de proyección debe ser menor al crítico el cual es de 70° , en estudios de campo se ha comprobado lo dicho anteriormente y es que el ángulo raramente sobrepasa los 40° , por esto la ecuación (1) será válida en la mayoría de las colisiones para indicar el límite máximo de la velocidad.

Incidencia de H

Searle consideró que H era del orden de 1m, lo que parece razonable cuando el peatón es proyectado desde el capo de un auto. Si se excluye el término en H la variación de V_o tendremos:

$$\begin{array}{lll} \mu = 0,66 & H = 1 & V_o = 42.34 \text{ km/h} \\ & H = 0 & V_o = 43.25 \text{ km/h} \end{array}$$

$$Er\% = +2.14 \%$$

Considerar el $H = 0$ en el caso que sea desconocido o no se quiera tener en cuenta no introduce un error porcentual importante.

Incidencia en la medición de S

En los valores siguientes se observa la variación de la velocidad mínima en función de las diferentes medidas de la distancia para el μ de 0.66 considerado:

$$\begin{array}{lll} \text{Para 14 m} & V_{omin} = 39.50 \text{ m/s} & Er\% = - 6.7 \% \\ \text{Para 16 m} & V_{omin} = 42.35 \text{ m/s} & \\ \text{Para 18 m} & V_{omin} = 45.02 \text{ m/s} & Er\% = + 6.3 \% \end{array}$$

El error en la medida de la distancia de proyección es del orden de $\pm 6\%$, tiene por lo tanto una mayor incidencia en el cálculo de la velocidad mínima en este caso particular considerado.

Conclusiones:

Al aplicar al caso concreto estudiado el método de Searle obtuvimos una velocidad mínima mayor a la que tenía el vehículo involucrado en el orden de un 10% suponiendo que la velocidad fuese de 60 km/h.

El método de verificar la velocidad del vehículo por las huellas de frenado ajustando la energía cinética por un coeficiente C dio un resultado mas adecuado.

De todas formas, es probable que en el momento del embestimiento la velocidad del vehículo fuera mas baja ya que el vehículo seguramente ya había iniciado la maniobra de frenado, por esto se consigna en el informe que la velocidad al momento del choque se situaba en los 55 km/h, resultado obtenido por otros métodos mas modernos y complejos (ver [1]).

Al estudiar como afecta cada uno de los parámetros involucrados el error relativo en el cálculo de la velocidad mínima vemos que el de mayor incidencia podría ser la correcta medida de las huellas de frenado (si es que existen).

El error aumenta con la aplicación del coeficiente EP del cual no tenemos mayores datos para ajustarlo de forma que los resultados se ajusten mas a la realidad, brindando si fuese posible, valores mas ajustados.

Este trabajo ha sido realizado por el Ingeniero Daniel François a los 29 días del mes de mayo de 2007 en Montevideo, República Oriental del Uruguay.

Índice	pag.
Introducción	1
Aplicación práctica del método de Searle	2
Velocidad mínima	4
Velocidad máxima	4
Incidencia en V_0 de los distintos parámetros	6
Conclusiones	8
Bibliografía	9
Anexo I	10
Anexo II	12

Bibliografía

- [1]. - Comparison of several methods for real pedestrian accident reconstruction.
Jean-Philippe Depriester
Institut de recherche criminelle de la gendarmerie nationale - IRCGN
Christophe Perrin
Thierry Serre
Sophie Chlondon
Institut National de Recherche sur le Transports et leur Sécurité - INRETS
- [2]. - SAE Paper No. 831622
The Trajectories of Pedestrians, Motorcycles, Motorcyclists, etc, Following a Road Accident.
John A. Searle
Angela Searle
- [3].- Vehicle Speed Throw Distance – Seattle and Appel
Professional Development Certificate in Forensic Road Accident Investigation.
An extract from the distance learning course notes.
- [4]- Modelo de los tres espacios para la determinación de velocidades en hechos de tránsito
Universidad Nacional del Nordeste
Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2004
Monica Ojeda
Néstor Molina
- [5]. - Vehicle – pedestrian collisions: validated models for pedestrian impact and projection
D.P. Wood
C. K. Simms
D.G. Walsh
Junio 2004

Método de Searle

Parte II

Anexo I

Para la determinación del coeficiente de ajuste $C = 1.27$ hemos tomado como base el trabajo de Mónica Ojeda y Néstor Molina [4] En este trabajo se tomaron huellas de frenada de diferentes marcas de vehículos para velocidades de 60, 80 y 100 km/h obteniendo las distancias medias y su desviación estándar.

Se realizaron un total de 150 ensayos sobre 50 vehículos diferentes, con un peso de 1344 kg y desviación estándar de 289 kg.

Analizando los datos consignados para 60 km/h:

Para una velocidad real $V = 60$ km/h se obtuvieron los siguientes resultados

Distancia de la huella de frenado D60

$$D_{60 \text{ min}} = 13.14 \text{ m}$$

$$D_{60 \text{ med}} = 13.94 \text{ m}$$

$$D_{60 \text{ max}} = 14.74 \text{ m}$$

Calculando las energías cinéticas correspondientes, con una masa de 1344 kg se obtiene los siguientes tres valores:

$$E_{c \text{ min}} = 138,380 \text{ KJ} = 14120 \text{ kgm}$$

$$E_{c \text{ med}} = 146,797 \text{ KJ} = 14964 \text{ kgm}$$

$$E_{c \text{ max}} = 155,463 \text{ KJ} = 15863 \text{ Kgm}$$

La energía cinética probable para esta velocidad es:

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

$$m = 1344 \text{ kg}$$

$$V = 60 \text{ km/h} = 16.66 \text{ m/s}$$

$$E_{c \text{ real}} = 186667 \text{ J} = 19028 \text{ kgm}$$

Calculamos las diferencias entre las tres energías cinéticas calculadas y la probable:

ΔE_c	C (factor de corrección)
$\Delta E_{c \text{ min}} = - 4908 \text{ kgm}$	1,35
$\Delta E_{c \text{ med}} = - 4064 \text{ kgm}$	1,27 $1,27 \pm 0,08$
$\Delta E_{c \text{ max}} = - 3165 \text{ kgm}$	1,20

de aquí obtenemos el factor de corrección de 1,27

La energía cinética disipada como porcentaje de la total en la fase previa a la marca de las huellas es:

$$E_{cdismin} = 4.908 \cdot 100 / 19028 = 25,79 \%$$

$$E_{cdismin} = 25,79 \%$$

$$E_{cdismed} = 21,36 \%$$

$$E_{cdismax} = 16,63 \%$$

$$E_{cdis\%} = 21,36 \% \quad + 4,44 \%$$

$$- 4,73 \%$$

Obtenemos un valor aproximado de:

$$E_{cdis\%} = 21,4 \pm 4,4 \%$$

Así si usamos un factor C de 1,27 obtenemos para la huella de frenada media el siguiente valor de la velocidad:

$$V = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,8 \cdot 14,78 \cdot 1,27} = 17,16 m/s$$

$$V = 61,79 \text{ km/h}$$

$$Er\% = (61,79 - 60) / 60 = 0,03 \%$$

El error relativo que utiliza este método para esta velocidad es del orden del 3 %. En el trabajo citado se demuestra que este factor es el mismo para los ensayos realizados a velocidades mayores, lo que avala su uso para el rango de velocidades estudiado.

Método de Searle

Parte II

Anexo II

En el trabajo “Vehicle – pedestrian collisions: Validated models for pedestrian impact and projection” [5] Wood indica lo siguiente:

“El modelo de Searle en el cual se tienen en cuenta el ángulo de proyección, el coeficiente de fricción y la variación de la cantidad de movimiento horizontal cuando se consideran los rebotes verticales contra el suelo es el más “físico” de los modelos tempranos.

La fase de impacto no está explícitamente modelada.

Searle tiene en cuenta el intercambio de la cantidad de movimiento entre el vehículo y el peatón (usando un factor del 20% de ajuste para adultos) pero no distingue entre las diferentes configuraciones del impacto.

De todas formas, el modelo de Searle es efectivamente un modelo de deslizamiento cuando el ángulo de proyección tiende a ser cero. En este caso, la predicción de velocidad de Searle es mayor que la de los ensayos.

Searle asume un coeficiente de fricción del orden de 0.7, y ésta es la causa en parte de que la velocidad estimada de impacto sea demasiado alta, si se usa un valor de 0.56, más realista, la curva de la velocidad calculada es demasiado alta.

En los casos de atropellamiento tipo Wrap, Searle minimiza la ecuación de la distancia de proyección respecto del ángulo de proyección para llegar a una velocidad mínima. Esta velocidad mínima es una vez más demasiado alta, debido en parte al coeficiente μ usado, pero también a considerar un factor constante de intercambio de la cantidad de movimiento. Adicionalmente, hay otra dificultad con el método de Searle, la distancia de proyección usada es el desplazamiento total horizontal del peatón desde el impacto hasta la inmovilidad: En realidad esta distancia incluye la distancia recorrida por el peatón durante el periodo de contacto con el vehículo, la cual es ignorada por Searle. A este respecto Searle no consideró la física de la colisión totalmente.”

En este trabajo se indican un par de gráficas donde se compara el método de Searle, entre otros, con ensayos de atropellamiento reales:

Método de Searle – Parte II

OBS: V_{min} De Searle por encima respecto de los datos obtenidos de casos reales

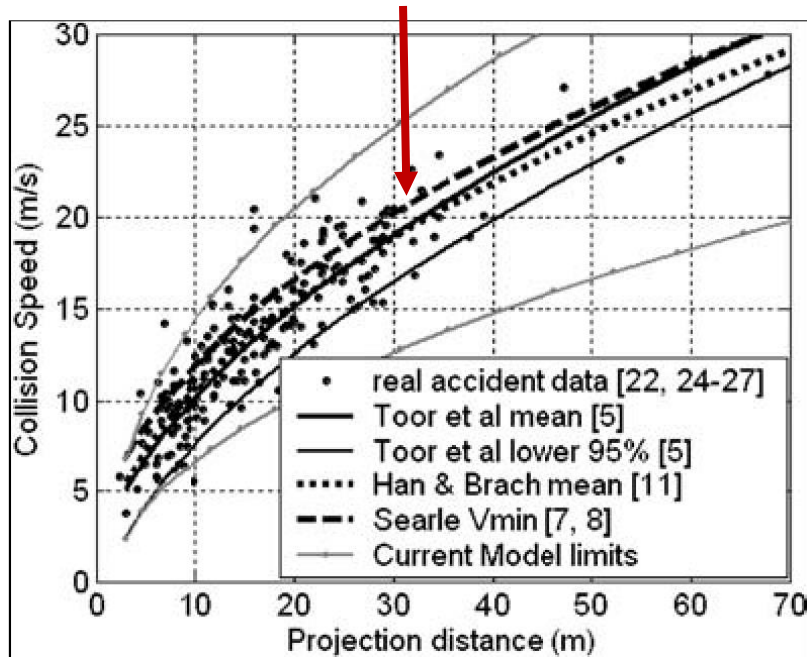


Gráfico 1: Casos reales y distintos métodos para trayectorias tipo wrap (envolvimiento)

OBS: V_{min} de Searle por encima respecto de los datos obtenidos de casos reales

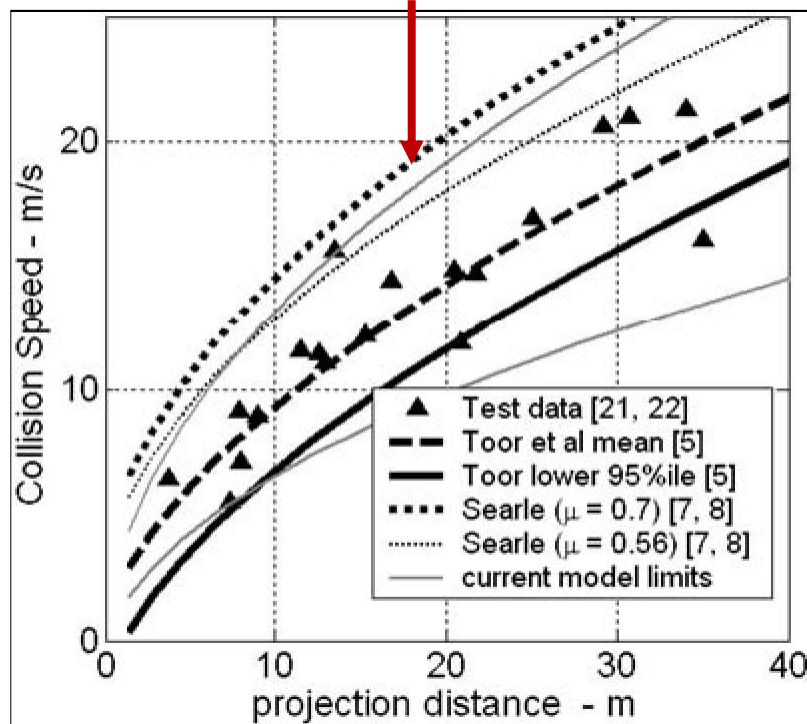
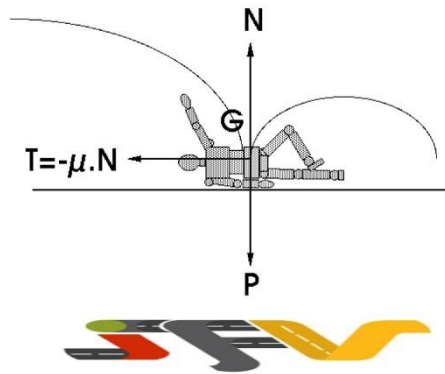


Gráfico 2: Casos reales y distintos métodos para trayectorias tipo forward projection (proyección frontal)

Método de Searle – Parte II
Revisión abril 2024



Ingeniería Forense Vial
Investigación – desarrollo - aplicación
Montevideo - Uruguay
2024