

ESTIMACION DE LA *DISTANCIA PRUDENTE* DE CIRCULACIÓN

Autor: ***Ing. Aníbal Oscar GARCIA***

Venezuela 1869 9° “C” (1096) Buenos Aires – ARGENTINA

Tel/Fax: (0054 11) 4381 – 7285

www.perarg.com.ar

agarcia@perarg.com.ar

ESTIMACION DE LA *DISTANCIA PRUDENTE* DE CIRCULACIÓN

RESUMEN

Una considerable porción de los siniestros en rutas y autopistas está relacionada con el hecho de que los conductores de los vehículos protagonistas no guardan una distancia mínima de circulación. Este factor tiene su influencia tanto en los choques en cadena en rutas y autopistas, como en las colisiones frontales, frecuentes en rutas de dos carriles durante las maniobras de sobrepaso.

La *distancia prudente* se define como la *distancia mínima* a la cual el conductor de un vehículo, observando una brusca disminución de la velocidad del vehículo que lo antecede, puede reaccionar y maniobrar para evitar una colisión, asumiendo como maniobra preferente el frenado.

El análisis que se presenta es un modelo para la estimación de la *distancia mínima* considerando la problemática del tránsito como un universo caótico. Esta consideración tiene en cuenta un flujo de vehículos de distinto porte, distinta relación de potencia-peso, y distinta maniobrabilidad. Subsidiariamente se toman en cuenta las restricciones en la inversión vial que siempre presionan sobre la seguridad.

Mediante procedimientos de estimación de probabilidades, y grados de severidad de impacto admisibles, se establece la *distancia prudente* de circulación que debe guardar un vehículo respecto del que lo precede, para una dada velocidad de circulación V_0 . Se considera en forma particular la maniobra de sobrepaso como una de las de mayor grado de siniestralidad.

El análisis concluye que para condiciones normales de circulación y situaciones extremas, una distancia equivalente a 1,5 segundos de la velocidad de circulación es una distancia absolutamente segura, aún en las rutas de dos carriles en más del 99 % de los casos, y en los casos restantes sólo pueden producirse colisiones de muy baja severidad. Se demuestra asimismo que con vehículos pesados circulando por debajo de los 110 km/h, la distancia de 15

metros es una distancia prudente previa a las maniobras de sobrepaso, independiente de la velocidad de circulación.

Ambas determinaciones tienen significación usadas por especialistas en el diseño de rutas y autopistas, localización de los elementos de seguridad (señalización horizontal y vertical), formulación de la legislación en materia de seguridad vial, y diseño de programas de educación vial. Teniendo en cuenta que entre los vectores de desarrollo tecnológico automotriz se encuentre la detección y limitar la velocidad de acercamiento, es de esperar que estos sistemas se ajusten a la legislación y reglamentación vigente en el país.

Hacia esos objetivos va dirigida la necesidad de pasar de recomendaciones empíricas a soluciones de base racional. Sobre todo que por la influencia que las decisiones de este tipo tiene sobre la utilización eficaz y eficiente de la infraestructura vial, y las políticas activas en pro de la disminución de la tasa de siniestralidad en rutas y autopistas.

EL MODELO DE *DISTANCIA PRUDENTE*

Considérese el caso de dos vehículos –denominados 1 y 2 respectivamente-, que circulan en la misma dirección a una velocidad V_0 ; en un determinado momento 1 comienza a desacelerar en forma constante con un valor a_1 . Con un cierto retardo r , expresado en segundos, el vehículo 2 comienza a hacerlo con una aceleración constante a_2 . El retardo r representa el *tiempo de reacción* que necesita el conductor de 2 para accionar y hacer efectiva la maniobra de frenado que conduzca a la desaceleración 2. La distancia que recorrerán ambos vehículos hasta detenerse (*se supone el caso extremo de frenada con desaceleración constante hasta velocidad final nula*) estará expresada por las siguientes ecuaciones

$$e_1 = V_0^2 / (2 a_1) \quad \text{y} \quad e_2 = V_0 r + V_0^2 / (2 a_2)$$

La distancia mínima que deben guardar ambos vehículos para evitar el contacto en el instante final será:

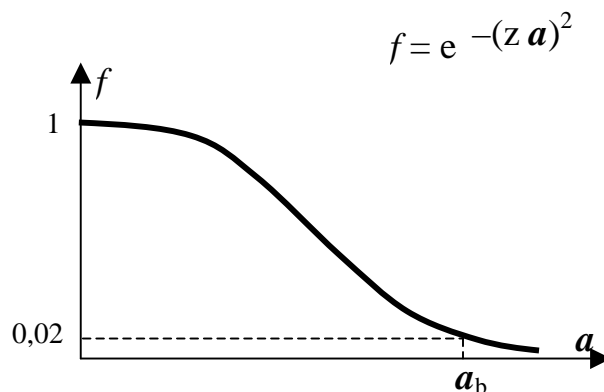
$$d > e_2 - e_1 = V_0^2 / 2 [1/a_2 - 1/a_1] + V_0 r \quad [1]$$

La ecuación [1] expresa el valor de la *distancia prudente* en forma general. Depende de la velocidad de circulación V_0 , de las diferencias de capacidad de frenado de ambos vehículos –expresadas en la diferencia entre a_1 y a_2 –, y el tiempo de reacción del conductor r que marcha detrás.

Para el caso particular de igual capacidad de frenado en ambos vehículos ($a_1 = a_2$) -que luego veremos es *altamente frecuente*-, la ecuación [1] se simplifica en la expresión

$$d > V_0 r \quad [2]$$

Un modelo de análisis que comprenda la universalidad de los casos, debe considerar la frecuencia de desaceleraciones que pueden ocurrir durante el tránsito en rutas y autopistas. Para este objeto preciso y concreto se recurre a un modelo de tipo probabilístico, en el que la distribución de frecuencias de los distintos valores de desaceleración posibles se representa por una curva de Gauss del tipo



Toda desaceleración de un automotor sobre neumáticos está limitada por el coeficiente de fricción entre el material de la cubierta y el pavimento. Salvo problemas específicos de performance o mantenimiento del vehículo, el par proporcionado por el sistema de frenos es superior al par resultante de la aplicación de la fuerza de fricción. Si el par de frenado supera el *par de fricción*, el resultado será el rápido bloqueo de las ruedas, y la desaceleración estará gobernada por las leyes de la fricción neumático pavimento.

En base a este fenómeno, el parámetro z de la ecuación de Gauss puede ser relacionado con el valor de la frecuencia esperada para que se produzca la frenada límite de bloqueo a_b . Haciendo $f_{cr} = 0,02$, el valor resultará $z = 1,98/a_b$. El valor de f_{cr} representa la fracción de desaceleraciones que llegan

al valor límite de bloqueo, donde la desaceleración es $u g$, con u representando el coeficiente de fricción. Un valor de $f_{cr} = 0,02$, que implica que a lo sumo el 2 % de las acciones de frenado en ruta llegan a la condición de bloqueo de los neumáticos, resulta altamente conservador para las finalidades para las que se gestiona este modelo.

La desaceleración límite de bloqueo a_b , depende de las condiciones del pavimento y de las características constructivas de los neumáticos -dureza del caucho, perfil de la cubierta-, y de las condiciones de uso -presión de inflado, velocidad, temperatura, etc.⁽¹⁾. Para pavimentos en buen estado, el coeficiente de fricción u tiene valores máximos de 1 para neumáticos de automóviles de alta performance e inferiores a 0,7 en vehículos pesados (camiones, ómnibus de larga distancia, etc.)

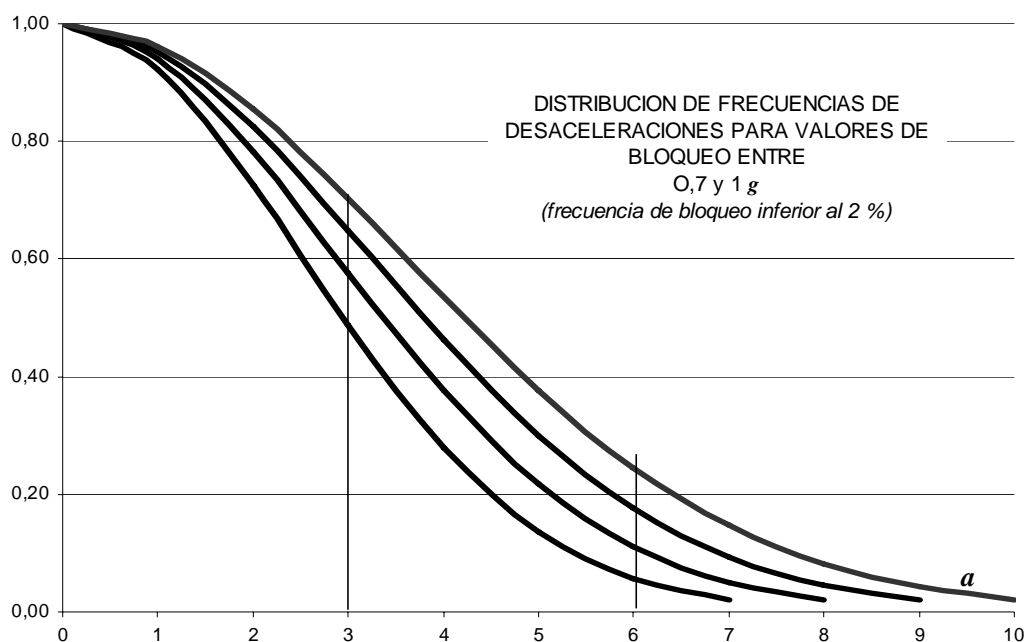


Figura 1
Distribución de aceleraciones en función de la aceleración de bloqueo

Para un espectro de coeficientes de fricción entre 0,7 y 1 (desaceleraciones críticas entre 7 y 10 m/s²), el espectro de aceleraciones indica un valor de $a_1 = 3 \text{ m/s}^2$ para más del 50 % de los casos, y $a_1 = 6 \text{ m/s}^2$

hasta por lo menos el 75 % de los casos esperados. Dentro de los límites mencionados, todos los vehículos con el sistema de freno en buen estado pueden desarrollar **la misma desaceleración de frenado**. Esto equivale a decir que para por lo menos el 75 % de las situaciones esperadas, se cumple la condición necesaria para que el modelo pueda resolverse con la ecuación simplificada [2].

La conclusión anterior reduce el espectro del problema esquematizado en la ecuación [1] al 25 % de los casos potenciales, en los que las aceleraciones de frenado sean distintas, debido a que alguno de los vehículos podría entrar en situación de bloqueo de ruedas, disminuyendo su capacidad relativa de frenado (además de la capacidad de maniobra). En realidad el problema subsiste en la mitad de los casos del espectro reducido (el 12,5 % del total de casos); aquellos en los que la desaceleración a_1 del vehículo precedente es mayor que a_2 , y puede ser alcanzado durante antes de que ambos detengan su marcha. Para el resto del espectro (el **otro** 12,5 % del total de casos) la situación es la inversa, ya que debido a la capacidad de frenado superior en el vehículo trasero, la posibilidad de alcance, bajo las consideraciones del modelo, se torna imposible

En resumen. La condición crítica para la determinación de la distancia prudente, incluye probabilísticamente a solamente la **octava parte** del universo de combinaciones de tránsito posible en rutas y autopistas.

La elección del un valor de $f_{cr} = 0,02$ puede aparecer arbitraria. Y de alguna manera lo es, en un sentido conservador propio de las estimaciones que se involucran en la seguridad. Sin embargo esta elección no tiene incidencia en los resultados, dada la muy baja sensibilidad de la función que relaciona el exponente z a con el valor crítico de f . Si se optara por valores de $f_{cr} = 0,01$ para un valor de $a_b = 7 \text{ m/s}^2$ el valor de z pasa de 0,267 a 0,307; si en lugar de tomar un 50 % se considerara el 200 % del valor adoptado ($f_{cr} = 0,02$), z tendría un valor de 0,256. A los efectos de las consideraciones realizadas las diferencias son insignificantes, y en todos los casos altamente seguras en términos de estimaciones conservativas.

-----ooo0ooo-----

El problema de la distancia prudente o distancia mínima de seguimiento necesaria para evitar la colisión (en términos numéricos, generar una colisión a velocidad 0), remite a los casos en los que el vehículo precedente tiene una capacidad límite de frenado superior a la del vehículo que lo sigue. Descartando problemas de mal funcionamiento del sistema de frenos, el problema es crítico para ómnibus y camiones con neumáticos duros e inflados a alta presión, que circulan por detrás de vehículos modernos, cuyos neumáticos tiene características constructivas y de operación que permiten un coeficiente de fricción cercano a 1 (desaceleración de 10 m/s^2)⁽²⁾.

En esta condición física del problema, la máxima velocidad del espectro de análisis coincide con la máxima velocidad que pueden desarrollar ómnibus y camiones en rutas y autopistas. Desde el punto de vista reglamentario, estas velocidades son respectivamente de 90 y 110 km/h. Sin embargo, las relaciones de potencia/peso de los vehículos modernos permite que desarrollen velocidades de hasta 130 km/h, valor que se adopta como límite para el estudio del modelo.

Otro factor determinante es el tiempo de reacción r , esperable del conductor del vehículo trasero. La reacción neurológica de un conductor ha sido tratada en forma sistemática en un trabajo fundamental publicado en 1986⁽³⁾, recogiendo antecedentes de investigadores franceses desde el año 1962. En todos los casos se modelizan respuestas de un conductor frente a situaciones de riesgo no previstas, descomponiendo el proceso en cuatro fases: detección de una señal, reconocimiento e identificación, decisión o elección de una respuesta, y la respuesta en sí misma, como la suma de tiempos de transmisión neurológica de una orden y su retardo mecánico en hacerse efectiva

Siguiendo estos criterios, diferentes autores⁽⁴⁾, clasifican la reacción en cuatro tipos: instintiva o refleja, simple, compleja y discriminatoria. Todos los autores citados coinciden en calificar la respuesta de aplicar el freno frente a la luz roja del vehículo delantero como una *reacción simple*, y los valores de tiempo necesarios oscilan entre 0,25 y 0,40 segundos para la reacción neurológica, confinando dentro del intervalo de 0,25 segundos el *tiempo*

mecánico de reacción que demanda la respuesta inercial de la cadena de mecanismos accionados hasta hacer físicamente efectiva la acción de frenado.

En resumen; el tiempo de reacción total desde la percepción inicial de la señal de la luz de stop del vehículo delantero debe considerarse dentro del rango de 0,5 a 0,75 segundos, dependiendo de factores como la edad, el estado físico, el consumo de alcohol, drogas y psicofármacos, y los hábitos adquiridos por instrucción y entrenamiento. Para conductores profesionales de ómnibus y camiones, los factores aludidos deberían considerarse entre muy buenos y óptimos, por lo que sería razonable volcarse hacia los extremos mínimos del rango considerado. Para el desarrollo matemático del modelo, por la conservatividad con que deben abordarse estas consideraciones, se consideran valores de r uniformes de 0,75 segundos.

Con parámetros de V_0 menores a 130 km/h y $r = 0,75$ s se reprocesa la ecuación [1]. Considerando una relación de desaceleración $k = a_2/a_1$, la misma queda expresada como:

$$d > [V_0^2/2 a_1] [(1/k) - 1] + V_0 r \quad [3]$$

que puede ser expresada como una ecuación de segundo grado de la velocidad, del tipo:

$$d > U V_0^2 + V_0 r \quad [4]$$

donde el coeficiente del término cuadrático $U = [1/k - 1] / 2 a_1$, y el del término lineal es el tiempo de reacción esperado r .

La combinación posible de desaceleraciones de ambos vehículos está dada por la curva de la Figura 1. Para una dada frecuencia de casos posibles (o total de casos estadísticamente probables) los valores de k y U son los dados por la siguiente tabla:

Determinación del factor U

FRECUENCIA (%)	5	3,75	2,5	1,25	0,5
a_2	6	6	6	6	6
a_1	6,5	7	7,8	8,6	10
factor k	0,923	0,857	0,769	0,698	0,600
factor U	0,0064	0,0119	0,0192	0,0252	0,0333

La *distancia prudente* resultará una función de la velocidad, y del tiempo de reacción esperado. Expresada **en proporción al tiempo** (en segundos), como función de la velocidad, la distancia derivada de la ecuación [4] para las distintas frecuencias de probabilidad de ocurrencia de frenadas extremas, es dada en la siguiente tabla.

FRECUENCIA (%)	5	3,75	2,5	1,25	0,5
Velocidad km/h	Tiempo de retardo para velocidad de choque nula (Vch = 0)				
80	0,9	1,0	1,2	1,3	1,5
90	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6
100	0,9	1,1	1,3	1,4	1,7
110	0,9	1,1	1,3	1,5	1,8
120	1,0	1,1	1,4	1,6	1,9
130	1,0	1,2	1,4	1,7	2,0

En todos los casos se ha considerado el 50 % del valor de frecuencia, según el criterio expuesto en la página 6.

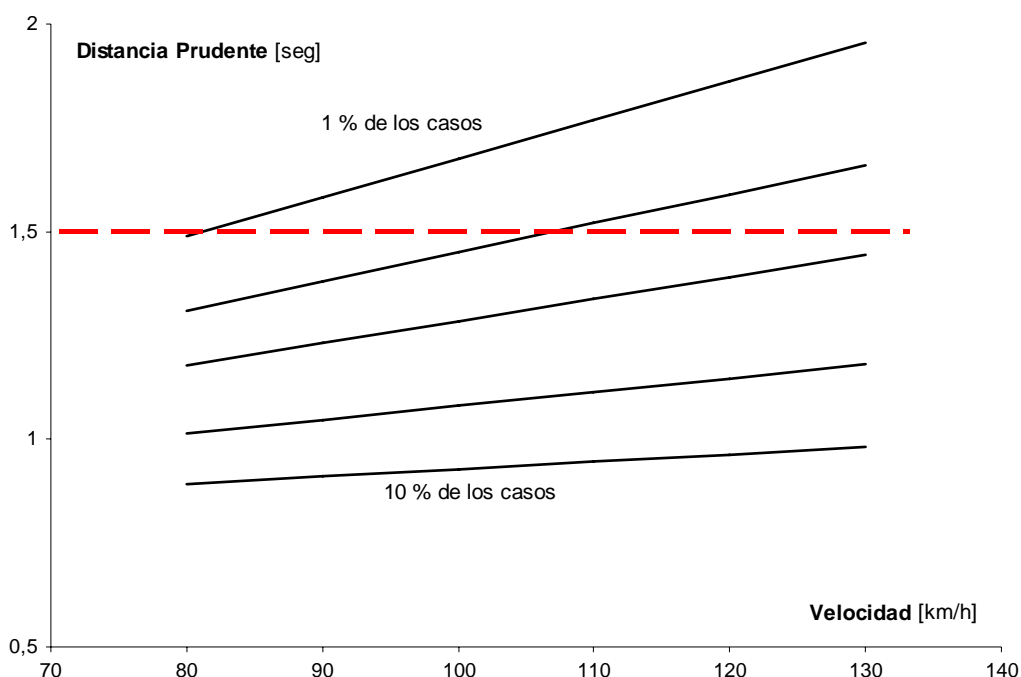


Figura 2 – Distribución de distancias críticas (en segundos)

El análisis de los resultados muestra que el valor de 2 segundos es un valor extremo de muy baja frecuencia (menor al 1%), y resulta de considerar

una situación de un vehículo pesado (camión u ómnibus) que circula a 130 km/h, cuyos neumáticos limitan la desaceleración a 6 m/s^2 , detrás de un vehículo que frena en situación de pánico, con un coeficiente de fricción de 1 (desaceleración $9,8 \text{ m/s}^2$).

Pero aún en este caso, si la distancia guardada entre ambos fuera equivalente a 1,5 segundos (a 130 km/h, 36,1 m/s, 54 en lugar de 72 metros de distancia), con una reacción del conductor de 0,75 segundos, la velocidad de impacto sería de 3 m/s ¡10,8 km/h!. Es decir que para el caso extremo considerado, de muy baja probabilidad, el siniestro tendrá la característica de ser de muy baja *severidad de impacto*.

-----ooo0ooo-----

El análisis anterior representa un universo límite de casos para condiciones normales de pavimento seco y en buen estado. Cabe la pregunta ¿cómo sería este análisis en condiciones de piso húmedo?. Paradójicamente el caso se vuelve menos crítico.

En efecto, el carácter de condición crítica está determinado por la desaceleración límite de los automotores, la que está condicionada por las características de la interfase neumático-pavimento. Como se ha visto, el riesgo creado depende (además de la velocidad de circulación) de las diferencias del coeficiente de fricción para distintos tipos de automotores que conviven sobre el mismo espacio.

Esta diferencia se atenúa a diferencias casi despreciables sobre piso húmedo, e incluso tiende a desaparecer si sobre el pavimento se ha formado una película de agua. Las tablas experimentales aludidas anteriormente, indican un menor valor del coeficiente de rozamiento, menor dispersión para una misma condición y sobre todo menores diferencias entre vehículos livianos y pesados, con gran independencia de los tipos de neumáticos y de sus condiciones operativas.

Por supuesto que las condiciones de riesgo en general frente una frenada imprevista en la ruta crecen; menores coeficientes indican que son necesarias mayores longitudes para disminuir en igual modo la velocidad. Es

por ello que la recomendación de seguridad vial frente a pisos húmedos o encharcados es disminuir la velocidad de cruce. Y he aquí la paradoja: el modelo demuestra que a menores velocidades y a menores diferencias de desaceleración límite, tienden a disminuir los requerimientos de distancia entre vehículos.

Si son menores los requerimientos por las condiciones particulares del camino, una distancia de 1,5 segundos sigue siendo una distancia segura, e incluso compensa las condiciones de pérdida de visibilidad y dificultades de maniobra provocadas por el agua en el pavimento.

DISTANCIA PRUDENTE y SOBREPASO

La circulación en autopistas de varios carriles, permite el ordenamiento en caravanas a distintas velocidades de cruce, alineadas en distintos carriles. Si a ello se suma un alto grado de homogeneidad del parque automotor en circulación –constituido por vehículos de escasa antigüedad y todos ellos en razonables condiciones de funcionamiento-, la determinación de la distancia prudente presenta un tipo de problema relativamente sencillo de estudiar. Para este escenario una distancia mínima segura, junto a la recomendación de superarla en todo lo que sea posible, representa una solución más que aceptable desde el punto de vista de la seguridad vial.

En el tránsito en rutas y autopistas contribuyen en forma proporcional a la baja del índice de siniestros y su gravedad, la condición de homogeneidad del parque automotor, el estado y amplitud de la vía, y la conducta generalizada de los conductores. Todos estos factores son ajenos a la problemática que se presenta en nuestro medio.

El incremento de la tasa de siniestros viales va en paralelo con la expansión de los factores en circulación (número de vehículos, peso medio y velocidades máximas), a un ritmo superior de la expansión de las rutas y autopistas (mejora de sus dimensiones, calidad y seguridad). También en paralelo se verifica que, en condiciones de crisis económica crónica, aumenta

la *longevidad* de los vehículos. Ambos factores desarrollándose simultáneamente –lo que denominamos *factor de in-homogeneidad* del parque automotor-, hace de las rutas un escenario compartido de vehículos de distintas capacidades de circulación y maniobra.

El tránsito en rutas altamente transitadas de dos carriles, sin separación física, y donde el espacio es compartido por vehículos de distinto porte y de distinta relación de peso-potencia, distinta capacidad de maniobra y de performance, el problema es el encuentro frecuente de ellos circulando en la misma dirección con distintas velocidades, o bien en direcciones opuestas sobre el mismo carril; el problema más frecuente de origen de los siniestros viales, y el que más gravedad concierne a los ocupantes, es el **sobrepaso**.

El mayor índice siniestralidad en las rutas de dos carriles se presenta en colisiones frontales durante las maniobras de sobrepaso. Este índice se condice con la *severidad de impacto* ⁽⁵⁾, determinada por la velocidad relativa de impacto, mucho mayor en el choque frontal respecto del choque trasero por alcance (suma de los módulos velocidad de ambos vehículos en el primer caso, diferencia en el segundo).

Un estudio realizado sobre más de 300 siniestros ocurridos en el año 2004, 88 % de ellos en rutas nacionales provinciales de dos carriles⁽⁶⁾, concluyó que la mayor parte de los accidentes graves ocurren en tramos rectos; que si bien los automóviles son los principales partícipes en este tipo de accidentes, los camiones, proporcionalmente, tienen la mayor influencia. Y lo que debe llamar la atención es que el 51,3 % de los casos fueron colisiones frontales donde el factor principal es una inadecuada maniobra de adelantamiento. La referencia citada pone de manifiesto que una de las *fuentes singulares* de siniestralidad a tomar en cuenta, es el sobrepaso.

El riesgo en esta maniobra depende del tiempo en que el vehículo se encuentra sobre la mano contraria de circulación. Este tiempo depende a su vez de dos factores; la velocidad relativa media respecto del vehículo sobrepasado, y la distancia relativa del frente del vehículo activo, al sector trasero del vehículo precedente al iniciar efectivamente la maniobra de

sobrepaso. Máxima velocidad relativa y mínima distancia al iniciar la maniobra disminuyen el riesgo.

-----ooo0ooo-----

El problema del sobrepaso, plantea un enfoque crítico para la determinación de la distancia prudente. La distancia equivalente a 1,5 segundos es una *distancia mínima* (segura) para una circulación ordenada. En lo que sigue se avanza en una revisión de ese concepto –en el sentido de la mayor complejidad-, de manera tal de inscribir el concepto, y la magnitud de la distancia prudente, siempre como *distancia mínima* a mantener respecto del vehículo precedente, en condiciones de caos en el comportamiento y capacidad de los vehículos que comparten un espacio reducido.

Previo al inicio del sobrepaso, existe un lapso durante el cual el vehículo activo circula detrás del pasivo a la misma velocidad observando el despeje sobre la mano contraria, para iniciar la maniobra. Ese lapso puede variar entre algunos pocos segundos (el tiempo de reacción complejo) hasta varios minutos, cuando el tránsito en el sentido contrario es intenso.

El análisis se introduce en el terreno de las soluciones de compromiso entre dos tendencias encontradas. Por un lado una larga distancia previa entre vehículos aumentará la duración de la maniobra de sobrepaso (o demandará de mayor aceleración y velocidad en el vehículo activo). Una corta separación entre los vehículos, aumenta los riesgos frente a una desaceleración imprevista del vehículo pasivo, antes de iniciarse la maniobra de adelantamiento.

Durante el lapso considerado la atención del conductor es máxima respecto a las situaciones de tránsito que suceden por delante. Bajo esa condición es sostenible la hipótesis de alta probabilidad de reacciones reflejas simples, en tiempos de reacción próximos a los mínimos. Siguiendo el razonamiento precedente, para esta condición podría aplicarse la ecuación simple de la distancia prudente..

$$d = 0,5 V_0 \quad [2]$$

Aunque la hipótesis parezca audaz, el valor de $t_r = 0,5$ segundos empleado se aproxima bastante a las consideraciones emergentes de las normas y

reglamentos empleados en Argentina⁽⁷⁾. Para el cálculo de la *distancia de visibilidad de adelantamiento* en el diseño de caminos de dos carriles, estas normas consideran implícitamente una distancia proporcional a la velocidad de circulación de ambos vehículos. Para velocidades expresadas en m/s, la ecuación correspondiente es:

$$d_r = 0,68 V_0 \quad [5]$$

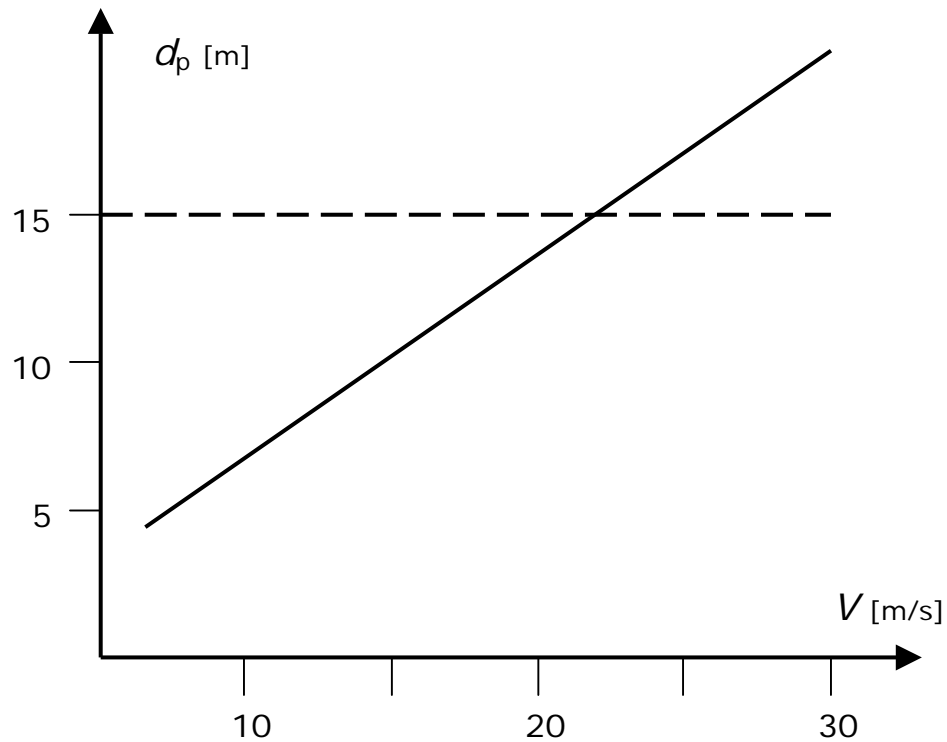
Para analizar comparativamente ambas expresiones, hay que hacer algunas consideraciones de las condiciones de contorno. La primera es el rango de velocidades dentro del cuál se deben considerar. Las normas y reglamentos son aplicables a las velocidades máximas admitidas en rutas de dos carriles (hasta 110 km/h en casos excepcionales). Por otra parte este análisis se somete a la discusión en un ámbito donde la preocupación central es la seguridad vial. De allí que la primera condición limita el rango de análisis entre 30 y 110 km/h.

La segunda condición de contorno, que debemos imponer dado el objeto de este trabajo, es que en todo momento debe existir entre los vehículos el espacio para la ubicación de un tercero. Esta precaución guarda relación con la probabilidad de que, en maniobras de sobrepaso demoradas por circulación intensa en el sentido contrario, se produzca la inserción de un tercer vehículo que debiera interrumpir una maniobra de adelantamiento en forma imprevista. Analizando la maniobra de reingreso del tercer vehículo, esa distancia no debe ser menor a 15 metros.

La distancia mencionada, aplicada a la fórmula propuesta, sólo sería superada por velocidades superiores a 108 km/h ($15 \text{ m} / 0,5 \text{ s} = 30 \text{ m/s} = 108 \text{ km/h}$). Es decir que para cualquier velocidad del espectro analizado, cuando se circula detrás de un vehículo pasivo, observando y decidiendo sobre la distancia de adelantamiento –dentro de las consideraciones expuestas en el modelo-, **se puede asumir una distancia prudente en las instancias previas al sobrepaso de 15 metros.**

El punto de discrepancia respecto de la consideración realizada para el diseño de caminos, aparece con velocidades por encima de los 80 km/h (22 m/s). sin embargo, respecto del criterio de una distancia prudente de 15

metros, las diferencias son de 2 metros a 90 km/h y menos de 4 metros para 100 km/h. En los términos de la capacidad de apreciación de un conductor en la ruta, esas diferencias son irrelevantes, como lo ilustra la siguiente figura.



DISTANCIA PRUDENTE y LA REGLA DE LOS 3 SEGUNDOS

La “*regla de los 3 segundos*” impuesta en nuestra legislación (como *los 2 segundos*), y difundida por todos los medios ha demostrado no tener efecto alguno sobre el crecimiento de la tasa de siniestralidad. Las estadísticas muestran un crecimiento permanente del número y severidad de los siniestros viales, en forma absolutamente independiente de la incorporación, promoción y ¿cumplimiento? de la citada *regla*.

La *regla de los 3 segundos* es un típico producto norteamericano. Empíricamente se demuestra como aceptable y nadie la cuestiona. La *importación* de la regla a nuestro medio, sin tener en cuenta la indiosincracia

del tránsito en Argentina en particular, es una típica conducta sudamericana: *si los norteamericanos lo hacen ...*

Resulta obvio que circular en autopistas de varios carriles, en caravanas de tránsito ordenado a distintas velocidades de cruce, y alineado en distintos carriles, en un ámbito donde la cultura imperante ha logrado imponer el respeto de la norma, con vehículos de escasa antigüedad y todos ellos en razonables condiciones de funcionamiento, presenta *un tipo* de problema.

Impartida la consigna de “*tres segundos*”, junto con velocidad máxima de 55 millas (unos 90 km/h), el respeto de ambas tiene su efecto sobre la siniestralidad, sin duda a la baja. Y poco importa si tres, dos o un segundo y medio. Lo que mantiene bajo el índice de siniestros, y su severidad, es la condición de contorno: el parque, el estado y amplitud de la vía, y la actitud generalizada de los conductores.

La problemática que debemos abordar en nuestro medio, está determinada por la expansión del tránsito (número de vehículos, peso medio y velocidades máximas) a un ritmo superior de la expansión de las rutas y autopistas, sus dimensiones, calidad y seguridad. Sobre esta fenomenología se superpone el hecho de que, en condiciones de crisis económica crónica, aumenta la “longevidad” de los vehículos, dando como resultado un escenario limitado, compartido por vehículos de distintas capacidades de circulación y maniobra.

El tránsito de alta densidad en rutas de dos carriles, sin separación física, y donde el espacio es compartido por vehículos de distinto porte y de distinta relación de peso-potencia, distinta capacidad de maniobra y de performance, el problema es el encuentro frecuente de ellos circulando en la misma dirección con distintas velocidades, o bien en direcciones opuestas sobre el mismo carril; la causa *más frecuente de los siniestros viales, y el que mayor gravedad reviste en los ocupantes, es el **sobrepaso***.

El problema del sobrepaso, tiene estrecha relación con la determinación de la mínima distancia prudente. La distancia de 3 segundos es una *distancia máxima* (segura) que remite a la circulación ordenada. En este ensayo se analiza la *distancia mínima* a mantener respecto del vehículo precedente (que

hemos dado en llamar la ***distancia prudente***), en las condiciones de caos en que se desenvuelve nuestra realidad cotidiana.

SEGURIDAD Y ECONOMIA VIAL

Los excesos suelen conducir a obtener resultados que agravan la situación que se intenta remediar. Los problemas en la ingeniería -y en general en la vida-, no se presentan como problemas aislados, sino como conjunto de problemas en contradicción mutua con las demás situaciones con las que conviven, en permanente tensión. La exigencia es encontrar soluciones de compromiso que resuelvan equilibradamente las demandas de cada factor concurrente a la situación da a la ingeniería su carácter de ciencia socialmente necesaria.

La economía vial es la *antagonista* de los problemas de seguridad vial. Las soluciones triviales (como la regla de *los 3 segundos*), no sólo no resuelven los problemas de tránsito carretero en términos de seguridad. Además generan problemas de economía vial, cuya presión no resulta soportable para el conjunto de la sociedad. A sabiendas que cae fuera del espectro de este ensayo, nos permitimos una breve digresión final sobre el tema.

Un índice de la eficiencia de una carretera la da la capacidad, el volumen máximo de vehículos que pueden pasar por un tramo, en un determinado tiempo. La determinación de la capacidad de una ruta **C** (en número de vehículos por hora) es un tema complejo que depende de muchas variables. A los limitados efectos de nuestra propuesta apelamos a una expresión simplificada,:

$$C = 1000 V / S$$

donde **V** es la velocidad media de circulación en km/h, **S** representa la separación entre vehículos en metros. Se aprecia que a menor separación media entre vehículos, mayor es la capacidad de flujo de un determinado camino, y para un dado valor de velocidad media.

Un valor alto de **S** incide en una mayor inversión en construcción y mantenimiento de caminos. Visto como una inversión marginal, y dado el carácter público que tiene la inversión en obras viales en general, estas

partidas son restadas de otras con las que se conforma el gasto público: salud, educación, asistencia social, etc.. Rubros todos que guardan estrecha relación con la calidad de vida de amplios sectores de la población.

Y esto nos lleva a una pequeña conclusión preliminar. La racionalización de los parámetros que determinan la distancia prudente de circulación tiene implicancias indirectas y positivas en disminuir la pérdida de vida humana, medida ahora en parámetros sociales más amplios.

CONCLUSIONES

Resulta una obviedad que a mayor distancia entre vehículos, mucho mayor será la probabilidad de reaccionar, menor la exigencia de rapidez y violencia de la respuesta, optimizándose las condiciones que hacen a la seguridad y protección del vehículo y de sus ocupantes.

Las recomendaciones de "*máxima distancia*" no constituyen problemas de ingeniería: nacen de la simple razón del buen sentido. Por otra parte, los "*buenos consejos*", expresados fuera del contexto de la realidad, suelen producir efectos contrarios, o al menos no deseados al momento de su formulación

El análisis anterior demuestra que para condiciones normales de circulación y situaciones extremas, una distancia equivalente a 1,5 segundos de la velocidad de circulación de ambos vehículos es una distancia segura para el 99,8 % de los casos. Y en el 0,2 % de los casos restantes, los choques resultarán de baja severidad. Esta condición tiene un alto grado de dependencia de la velocidad de los vehículos pesados en las rutas de un carril por mano.

El análisis es consistente para piso seco y buenas condiciones climáticas. Con piso mojado, bajo lluvia o neblina, el problema sigue siendo el mismo, pues los coeficientes de desaceleración tiende a igualarse a la baja. La condición de seguridad es disminuir la velocidad, y aumentar la distancia con el vehículo precedente por efecto del spray desarrollado por los vehículos precedentes, que disminuye la visibilidad⁽⁸⁾.

El problema de la *distancia prudente* es sólo **uno** de los problemas -y no el de mayor relevancia estadística -, en la siniestralidad en rutas y autopistas. La cuestión de la distancia ni siquiera puede ser considerada en forma aislada, como de alguna manera suele encararse, y también lo hace el análisis hasta aquí.

El tránsito carretero en nuestro medio es un fenómeno caótico en sí mismo; la imagen de un vehículo circulando detrás de otro a la misma velocidad y por lapsos prolongados en un caso muy poco frecuente. Lo *más frecuente* es el flujo de vehículos de distinto porte y de distinta relación de peso y potencia, distinta maniobrabilidad. Y frente a ello, **el problema** es el encuentro frecuente de ellos a distintas velocidades. De allí que *la causa más frecuente de los siniestros viales de alto grado de severidad es el sobrepaso*. Para estos casos, la distancia mínima no debe ser nunca inferior a 15 metros, y una vez rebasada la línea del vehículo, no retomar el carril de circulación normal, sin asegurarle al otro vehículo una distancia de 15 metros.

Las determinaciones realizadas por modelos matemáticos como el expuesto, tienen significación usadas por especialistas en el diseño de programas de educación vial, en el diseño de rutas y autopistas, localización de los elementos de seguridad (señalización horizontal y vertical), en la formulación de la legislación en materia de seguridad vial, etc..

Como es público y notorio, para afrontar maniobras de frenadas imprevistas –entre otras-, un factor determinante es el *tiempo de reacción* de los conductores. Y ello depende de la ausencia de fatiga, y de la no ingesta de alcohol y drogas de variado tipo. Velocidad moderada y buenas condiciones psicofísicas, disminuyen la necesidad de exagerar la distancia mínima de circulación entre rodados. Por lo contrario, no existe distancia de separación entre vehículos en movimiento que pueda contrarrestar el efecto de los factores antes apuntados. Y esta asimetría del problema debe ser tomada en cuenta en una política activa de disminución de la tasa de siniestralidad en rutas.

AGRADECIMIENTOS

El autor quiere dejar sentado su agradecimiento por la desinteresada colaboración recibida de los Ingenieros **Gustavo P. GALMÉS** y **María G. BERARDO**, quienes con sus críticas y observaciones, derivados de una lectura atenta, han contribuido a la reflexión y revisión desde los primeros borradores de este ensayo.

Referencias

- ⁽¹⁾ Las bases del análisis global del fenómeno de fricción fueron desarrolladas en terminos teóricos y experimentales en *Charles Y. WARNER, Gregory C. SMITH, Michael B. JAMES, and Geoff J. GERMANE – FRICTION APPLICATIONS IN ACCIDENT RECONSTRUCTION* –Intl Congress and Exposition Detroit, 1983– SAE paper 830612
- ⁽²⁾ Un caso particular lo presentan los vehículos equipados con sistemas que evitan el bloqueo de las ruedas (ABS). En estos casos el límite de desaceleración se encuentra muy próximo a la desaceleración impresa por el par frenante, que puede llegar a valores promedio de 1,15 g.
- ⁽³⁾ *G. MALATERRE – Temps de Response et Manoeuvre D’urgence en La Reconstitution Cinematique des Accidentes*, París, Institute National de Recherche sur les Transports et Leur Sécurité, Rapport Nr. 21, Decembre, 1986
- ⁽⁴⁾ *Academia de Tráfico de la Guardia Civil - INVESTIGACIÓN DE ACCIDENTES DE TRAFICO* –Ministerio del Interior Madrid Dirección Gral. de Tráfico 2000 (pags 354-356). *J. Stannard Baker - MANUAL DE INVESTIGACIÓN DE ACCIDENTES DE TRAFICO* (Traducción de TRAFFIC ACCIDENT INVESTIGATOR’S – MANUAL FOR POLICE – Northwestern University, Evanston, Illinois, segunda edición 1964). Traducción de la Dirección Gral. de la Jefatura de Tráfico Ministerio del Interior Madrid, 1970 (pags 235-236). *Jerry Eubanks – PEDESTRIAN COLLISION RECONSTRUCTION* –1994, Lawyers & Judges Publishing Co. ISBN 0-88450-09-7 (pags 196-197). *María Graciela BERARDO - ACCIDENTES DE TRANSITO – Análisis Pericial Científico-mecánico* Editorial Mediterránea – Córdoba, 2003 (pags 32-34).
- ⁽⁵⁾ El concepto de *severidad de impacto* adquiere significación con el desarrollo experimental de *Campbell* en la Estados Unidos, a principios de los años 70. En pocas palabras, es un índice que relaciona de la velocidad relativa de la colisión con la gravedad de las lesiones sufridas por los ocupantes. De esta manera un siniestro de alta severidad siempre está asociado a lesiones severas y muerte en los ocupantes. (*Kenneth L CAMPBELL - ENERGY BASIS FOR COLLISION SEVERITY.*- Paper SAE 740565)
- ⁽⁶⁾ Fabián Pons. **NUMEROS INGRATOS.** – Revista *CRASH TEST* N° 59, Febrero 2005
- ⁽⁷⁾ *A.A.S.H.T.O. - DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS Y CALLES, 1994* – Traducción del Ing. Francisco J SIERRA, Bs. Aires, 1997-98. Un criterio semejante puede encontrarse en las Normas de Diseño Geométrico de Caminos Rurales de la Dirección Nacional de Vialidad
- ⁽⁸⁾ La identidad de los coeficientes de fricción en piso mojado para casi todo los tipos de neumáticos, afirma la validez del modelo; 1,5 segundos de distancia respecto del otro rodado es una distancia prudente, *si se conduce a una velocidad adecuada a las condiciones excepcionales*. Si no se cumple esta última condición, de nada vale la gran distancia; **tres segundos de distancia a 120 km/h en piso mojado no evitan absolutamente nada.**