

# Algunas consideraciones sobre el tránsito viario

Por Luis TORRENT

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

## Nota previa:

Mi alejamiento profesional de los problemas de tránsito viario, me podrá justificar ante el lector, si en estas notas, acabo "descubriendo Meditarráneos" elementales para el estudio de estas materias; pero espero que ese alejamiento, que es en sí un inconveniente, tenga también la ventaja de permitir un punto de vista diferente en alguna de las cuestiones abordadas, un punto de vista que podríamos llamar "naif", si es que en asuntos técnicos se puede aceptar este término como sustitutivo de "ignorante".

## Panorama desde el puente

Me ocurrió el verano pasado, regresando con la familia por una autopista. De pronto, el coche comenzó a fallar y la autopista, que hasta aquel momento parecía estar vacía, se pobló de vehículos que nos adelantaban zumbando con displicencia. Al llegar, a trancas y barrancas, a las taquillas del peaje, la habitual cola de coches no nos sorprendió como en otras ocasiones: por primera —y espero que última— vez, la lenta marcha había permitido comprobar que el tránsito de la autopista era verdaderamente importante, mucho más intenso de lo que, en condiciones normales de velocidad, había imaginado.

Esta leve y no muy feliz experiencia es el origen de estas notas, en las que he pretendido analizar algunos aspectos de la circulación por carretera desde el punto de vista del que está inmerso en el tránsito, comparando sus apreciaciones con las del que lo contempla desde un punto fijo. El símil hidráulico se impone: el que es llevado por la corriente no ve el río como el que lo mira desde un puente o desde una estación de aforos.

Pero el símil es más aparente que real en múltiples aspectos; por ejemplo, en la forma de afo-

rar una corriente, que difiere del procedimiento utilizado para medir la circulación viaria. Mientras que en un río o en un canal es preciso obtener las velocidades de los filetes líquidos en múltiples puntos de una determinada sección para deducir una ley de calados, caudales que permita conocer el flujo a través de la misma, en un camino se pueden contar los vehículos, obteniéndose su caudal por unidad de tiempo directamente.

Para el hidráulico, la determinación de velocidades es un mero dato auxiliar, porque lo que interesa es el volumen de agua por segundo; para el problema viario, el conteo de vehículos es un dato interesante, pero también lo es su velocidad media y la composición de velocidades del tránsito de la vía.

## Campana sobre campana

Las curvas de distribución de velocidades de vehículos similares que pasan ante un aforador de tráfico tiene en general, forma de campana de Gauss, con un máximo que corresponde a la velocidad media del tránsito. Pero si la circulación está compuesta por móviles de dispares características (carga pesada, carga media, autobuses, turismos, tractores) la incidencia de cada componente en la circulación total puede ser muy diferente, con variaciones que dependen hasta del horario. Suponer que la resultante tiene forma de campana, incluso que presenta un solo máximo, es cuestionable. No obstante, a efectos simplificados, vamos a admitirlo en lo que sigue, sin perder de vista que la circulación que así resulta es excesivamente ideal.

La clasificación de velocidades de los vehículos se hace agrupándolas por escalones, que pueden ser de 10 Km/h, 5 Km/h, etc. Los móviles que marchan a la velocidad teórica  $V_n$  son las comprendidas en el escalón  $V_n \pm \frac{\Delta V}{2}$ ; y, llamando  $p_n$  a la fracción del tránsito que circula a esa velocidad teórica, se tiene:

$$p_n = \frac{\Delta V}{\sqrt{\pi b}} e^{-\frac{(V_m - V_n)^2}{b}}$$

siendo  $V_m$  la velocidad media de la circulación y  $b$ , un parámetro que depende de la forma, más

DISTRIBUCION DE VELOCIDADES DEL TRANSITO

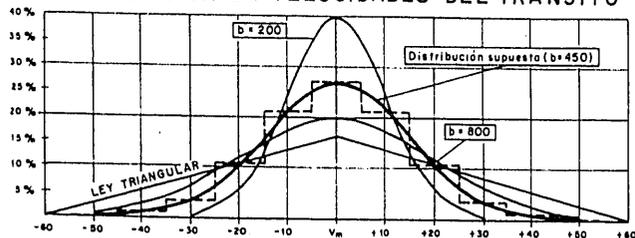


Fig. 1

# ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE EL TRANSITO VIARIO

o menos abrupta de la campana; es decir de la menor o mayor dispersión de velocidades respecto a la media.

## CONTENIDO DE VEHICULOS EN UN TRAYECTO DE 100 Km

$V_m =$  VELOCIDAD MEDIA (Km/h)

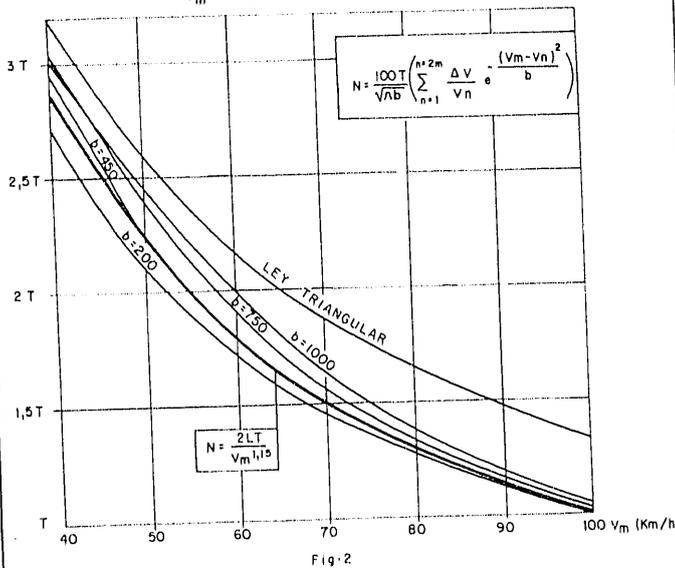


Fig. 2

Por ejemplo: para escalones de velocidad de 10 Km/h, la fracción del tránsito que circula a velocidad media será

$$p_m = \frac{10}{\sqrt{\pi b}}$$

y, en los escalones inmediatos ( $V_n = V_m \pm 10$ ), será

$$p_{m \pm 1} = \frac{10}{\sqrt{\pi b}} e^{-\frac{100}{b}}$$

la suma de estos tres escalones es, para  $b = 200$ , el 88,3% del tránsito total; mientras que representa sólo un 50% si  $b$  vale 1.000.

En los cálculos, gráficos y ejemplares que se incluyen en estas notas, se ha supuesto  $b = 450$ .

Si la distribución de velocidades siguiera una ley triangular, con vértice  $V_m$ , se tendrá:

$$p'_n = n \frac{\Delta^2 V}{V_m^2} \quad (n \leq m)$$

$$p'_n = \frac{2 \Delta V}{V_m} - n \frac{\Delta^2 V}{V_m^2} \quad (n \geq m)$$

Los vehículos que circulan a velocidad media serán

$$T \times p'_m = \frac{T \Delta V}{V_m}$$

que coincide con los de la distribución en campana cuando  $b = \frac{V_m^2}{\pi}$ .

## La soledad de la autopista (1.ª aproximación)

En un tramo de vía de longitud  $L$  (Km) sometido a un tránsito permanente de  $T$  vehículos por hora, el número de los que circulan a velocidad  $V_n$  es

$$N_n = T \times p_n \times \frac{L}{V_n} = \frac{LT}{\sqrt{\pi b}} \frac{\Delta V}{V_n} e^{-\frac{(V_m - V_n)^2}{b}}$$

por consiguiente, el contenido total de vehículos en el trayecto considerado será:

$$N = \sum_{n=1}^{n=2m} \frac{LT}{\sqrt{\pi b}} \frac{\Delta V}{V_n} e^{-\frac{(V_m - V_n)^2}{b}}$$

$N$  depende, fundamentalmente, de la velocidad media del tránsito; en segundo lugar, pero ya con una influencia secundaria, del parámetro  $b$  de distribución de velocidades; por último, con escasa importancia, del error que se comete al establecer escalones de velocidad.

Una expresión aproximada del contenido de vehículos del tramo podría ser:

$$N = \frac{2LT}{V_m^{1,15}}$$

Como se aprecia en el gráfico, la fórmula se ajusta bien a los resultados de las diferentes campanas de distribución, aunque difiere bastante de los que se obtienen por una ley triangular.

De acuerdo con la fórmula establecida, la separación media entre vehículos que marchan por un trayecto, resulta (expresada en metros):

$$d_m = \frac{500}{T} V_m^{1,15}$$

Es decir, la distancia aumenta más que proporcionalmente con la velocidad media de la circulación.

Esta puede ser una primera explicación de la impresión de soledad que se experimenta al recorrer una autopista, de elevada velocidad media del tránsito; más adelante veremos que esa impresión tiene otras causas más determinantes.

# ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE EL TRANSITO VIARIO

## Las campanoides

La composición del tránsito contenido en un trayecto no es la que detecta la estación de aforos. Son dos conceptos diferentes: el aforo es una contemplación duradera desde un punto, mientras que el contenido de vehículos abarca una longitud y es intemporal.

La proporción de móviles lentos en un tramo es, evidentemente, mayor que la que da el aforo puntual: si éste señala un mismo porcentaje de vehículos que marchan a 30 y a 90 Km/h, en el trayecto habrá triple número de los primeros que de los segundos, puesto que los tiempos de recorrido están en esa proporción.

Las ordenadas de la curva de composición del tránsito en un trayecto se relacionan con las del aforo mediante la fórmula:

$$P_{tn} = \frac{p_n}{V_n} \times \frac{1}{\sum_1^{2m} \frac{p_n}{V_n}} \sim \frac{V_m^{1,15}}{2} \frac{p_n}{V_n}$$

La representación tiene forma de campana, con un desplazamiento hacia las velocidades lentas respecto a la del aforo.

Si un vehículo, de velocidad  $V_c$ , recorre el tramo  $L$  en sentido contrario al tránsito considerado, deberá cruzarse con los vehículos contenidos en él y con todos aquellos que, mientras dura su recorrido, han continuado entrando en el tramo, de acuerdo con la curva de aforo. El número total de cruces será

$$N + \frac{LT}{V_c} = LT \left( \frac{2}{V_m^{1,15}} + \frac{1}{V_c} \right)$$

LA CAMPANA DE  $V_m = 70$  ES LA MISMA DE  $V_m = 60$  TRASLADADA. PERO NO ASI LA DE VEHICULOS CONTENIDOS EN EL TRAYECTO.

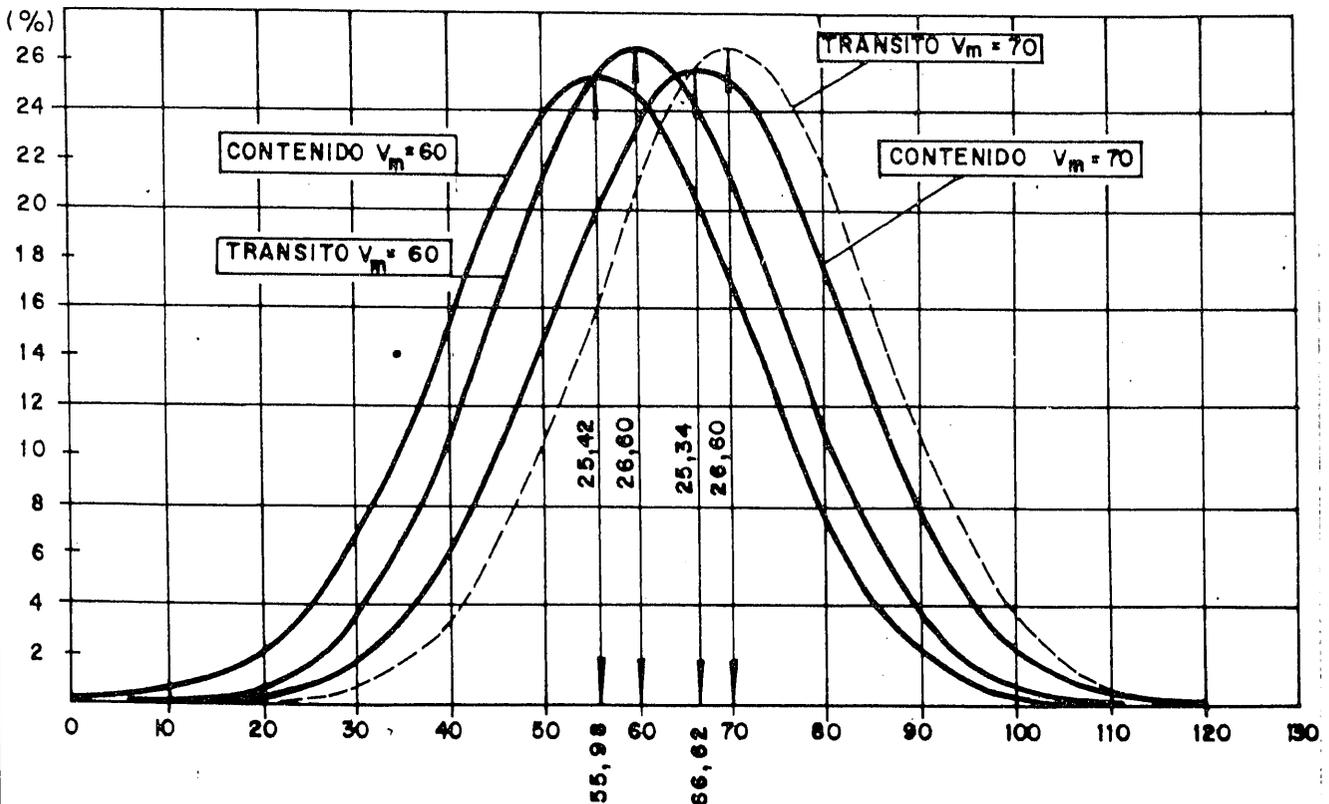


Fig - 3

## ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE EL TRANSITO VIARIO

y la composición del tránsito que observa el conductor de este vehículo será una intermedia entre la del aforo y la del tramo.

Haciendo  $L = V_c$ , se obtiene la proporción del tránsito que el móvil cruza, que es:

$$p_c = 1 + \frac{2 V_c}{V_m^{1,15}}$$

### El río que nos lleva

Hasta aquí hemos analizado la circulación viaria bajo tres aspectos:

- a) contemplada desde un punto fijo del camino (aforo)

- b) fotografiada desde un avión (contenido de un tramo de vía)

- c) vista por un móvil que circula en dirección contraria.

Cada punto de vista proporciona resultados diferentes, en esencia y cantidad, pero las composiciones del tránsito son bastante semejantes en los tres casos.

No ocurre así cuando la circulación se observa desde un móvil que forma parte de la misma. En primer lugar, porque desaparecen para el observador los vehículos que marchan a su misma velocidad, pues no le alcanzan ni son alcanzados por él en el trayecto. La proporción de los que circulan en los escalones de velocidad inmediatos, queda minimizada, ya que sólo una pequeña parte de los mismos le adelantará o serán ade-

### PORCENTAJE DEL TRANSITO QUE VE EL MOVIL DE VELOCIDAD $V_p$

( DE TRAZO, PORCENTAJE QUE ADELANTA EL MOVIL )

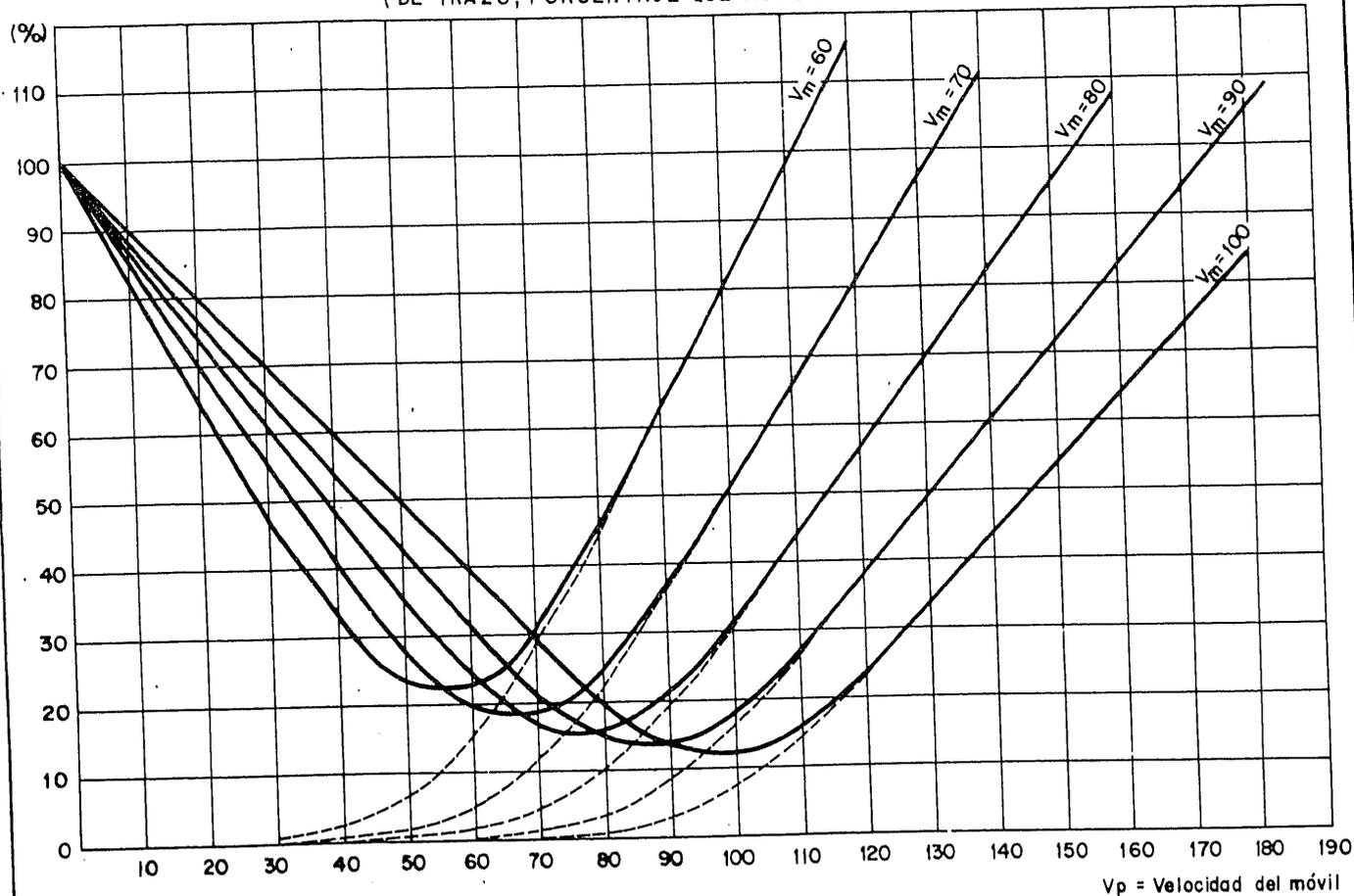


Fig. 4

## ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE EL TRANSITO VIARIO

lantados por él. Como consecuencia de ello, la composición de vehículos aparente queda profundamente alterada, como también la cantidad, especialmente si el móvil marcha a la velocidad media del tránsito.

El número de adelantamientos que realiza un vehículo de velocidad  $V_p$ , en un recorrido  $L$ , será:

$$N_a = \sum_{n=1}^{n=p} p_n T \left( \frac{L}{V_n} - \frac{L}{V_p} \right)$$

Si la suma se extiende de  $n = p$  a  $n = 2m$ , se obtendrán los vehículos que le adelantan a él en el trayecto considerado.

El porcentaje del tránsito que dicho móvil ve (suma de adelantamientos activos y pasivos) será:

$$p_p = \sum_{n=1}^{n=2m} p_n \left| \frac{V_p}{V_n} - 1 \right|$$

### La soledad de la autopista (2.<sup>a</sup> aproximación)

Supongamos que un coche avanza a 100 Km/h por una carretera cuyo tránsito, principalmente pesado, tiene una velocidad media de 60 Km/h.

De acuerdo con la fórmula que hemos obtenido anteriormente, el conductor del coche ve el 80% de la circulación que marcha en su misma dirección.

Poco después, el vehículo se incorpora a una autopista, cuya velocidad media es de 100 Km/h, igual a la que él llevaba y que no altera al cambiar de camino. Ahora el conductor no ve más que el 12% del tránsito de la vía. Si éste fuera igual que el de la carretera, por ejemplo, de 200 móviles por hora, ha pasado de ver —y tener que adelantar— a 40 vehículos en cada cuarto de hora a contemplar en ese tiempo solamente 6 coches de los cuales adelanta a 4.

El conductor se siente solo en la ruta y, como al "hombre del 600" de la vieja canción, le parece que "la carretera nacional es suya" (aunque, tratándose de una autopista, sería más acertado calificarla de "multinacional").

Pero, de pronto, surge una avería del motor, como me sucedió a mí en la experiencia reseñada al comienzo de estas notas, y el coche no pasa de 40 Km/h. El conductor verá ahora el 60% del tránsito, que le adelantará a un ritmo de 2 vehículos por minuto. Para él, al producirse la avería, se ha multiplicado por 5 la circulación. Y, además, se ha vuelto ruidosa, de motores y bocinas... Y el coche va a tirones... Y los niños preguntan que por qué vamos tan despacio... Y luego este calor, este calor...

### Divagación final

En mi soledad  
he visto cosas muy claras  
que no son verdad

Hay muchos campos en que son de aplicación los versos de Machado. Uno de ellos, como acabamos de ver, el de la soledad del corredor de fondo, que apenas vislumbra la realidad del tránsito de la vía por la que circula, y lo poco que ve es muy diferente de la verdadera circulación. Pero, en fin, esto tiene un escaso interés práctico para el automovilista y se puede decir que nulo para el proyectista de carreteras.

Sin embargo, todo lo expuesto anteriormente puede ser un primer paso para la consideración de otros aspectos de la circulación viaria, como peligrosidad relativa, saturación de los caminos, etc., farragosos estudios que estoy dispuesto a dar a luz a poco que me alienten los lectores de este artículo.

Y también puede servir de base a divagaciones y lucubraciones sobre nuestra visión del Universo. Al fin y al cabo, el planeta Tierra, el sistema solar y nuestra galaxia, son móviles de un inmenso camino estelar, en el que existen velocidades relativas internebulares elevadísimas, próximas a la celeridad de la luz. Quizás estemos viendo solamente una parte muy pequeña del Universo ( $3,5 \times 10^{-6}$ , según mis números) no por imperfección de nuestros medios, sino porque realmente no podemos ver más debido a nuestra velocidad de traslación en el espacio. Y, tal vez, nuestra visión esté enormemente deformada, como la del prudente conductor que marcha a la velocidad media del tránsito.

# ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE EL TRANSITO VIARIO

## RESUMEN

El autor hace un estudio, puramente especulativo, del tránsito viario desde diversos puntos de vista: un aforador, un trayecto de camino, un

móvil que marcha contra corriente y, por último, desde un vehículo inmerso en la circulación que se analiza. Las visiones del tránsito que obtiene cada uno de estos observadores, son muy dispares tanto en su cuantía, como en su composición.

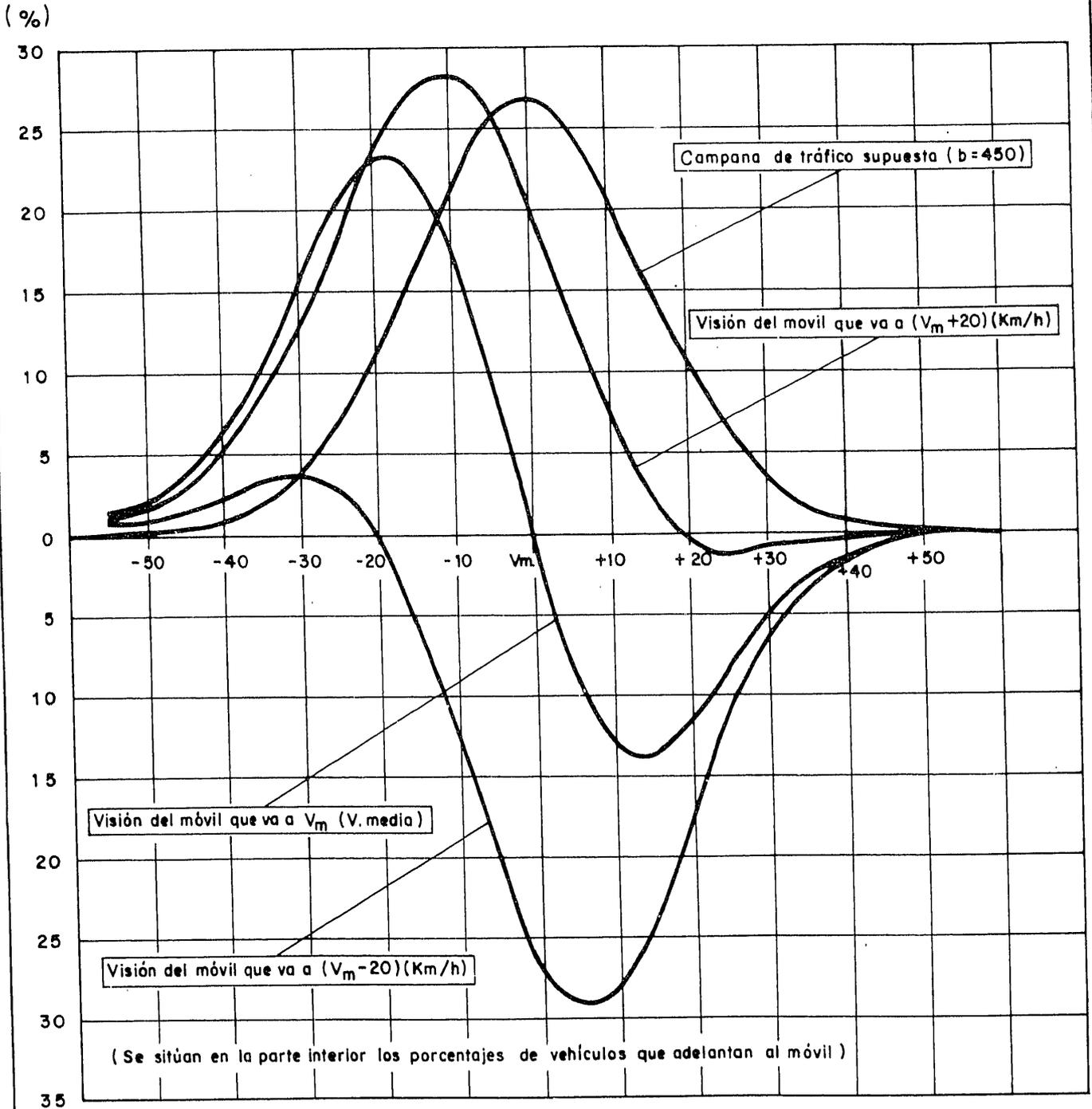


Fig - 5

42