

***Cálculo de la velocidad de un vehículo a partir de la longitud de una
huella de frenada – Fórmula del Policía***

Diego Manuel López Morales – Físico Forense IRSVIAL LTDA

1. Generalidades

En muchas ocasiones, solo se tiene como evidencia de un accidente de tránsito las marcas de huellas de frenada y la posición final del vehículo, con esta información se puede realizar el cálculo de la mínima velocidad, o rango de velocidad, que tenía el automotor al inicio de las huellas de frenado.

2. Cálculo de la velocidad a partir de las Huellas de Frenada

En situaciones de emergencia, muchas veces los vehículos realizan una frenada, la cual puede dejar una marca en la vía, la denominada HUELLA DE FRENADA.

Un proceso normal de frenada de emergencia es aproximadamente como sigue: el conductor observa el peligro, a partir de este instante transcurren aproximadamente entre cero coma ocho (0,8 s) y uno coma cinco (1,5 s) segundos, tiempo de reacción normal para un conductor atento, en aplicar los frenos; Después de esto, al actuar los frenos, las llantas disminuyen su velocidad de giro hasta que son bloqueadas, por lo que el vehículo finalmente se desplaza un trayecto deslizando, en el cual deja caucho en el piso, y es posible que se marque la huella de frenada, antes de detenerse totalmente; el anterior proceso involucra dos distancias recorridas por el vehículo, primero la distancia que recorre el vehículo durante el tiempo de reacción del conductor, llamada distancia de reacción d_R , y segundo la distancia que recorre el vehículo durante la frenada d_F , la distancia total de parada d_T , es la suma de las dos, es decir, $d_T = d_R + d_F$.

En el anterior proceso es importante tener en cuenta que el conductor de un vehículo que ya ha bloqueado las llantas *pierde maniobrabilidad en su dirección*. Además, en el tiempo de reacción donde normalmente se deja de acelerar, el vehículo disminuye su velocidad.

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

$$V = 3,6\sqrt{2\mu g d} \quad (1)$$

Dónde:

- V: Velocidad del vehículo en el instante de comenzar a marcar la huella de frenada.
- μ : Coeficiente de rozamiento entre las llantas del vehículo y el asfalto.
- g: Valor de la aceleración de la gravedad: 9,8 m/s².
- d: Longitud de la huella de frenada más larga marcada por el vehículo.

La fórmula (1) es el resultado del análisis físico de un proceso de frenada, en el cual la energía cinética que posee un vehículo de masa m , cuando se desplaza a una velocidad v , es $k = (\frac{1}{2})mv^2$, se disipa completamente en la frenada durante la detención del vehículo.

Por la simplicidad del modelo físico y las limitaciones que tiene la fórmula (1), además es la más utilizada por los miembros de la Policía Nacional en diferentes países, se ha denominado la fórmula del Policía.

Para aplicar la fórmula (1) y calcular la velocidad del vehículo al inicio de la huella de frenada, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- ✓ Si no queda marcada huella de frenada en el lugar de los hechos, no es posible aplicar la fórmula.
- ✓ La fórmula (1) es válida si la huella es marcada en una superficie plana o en leves pendientes, menores de un grado.
- ✓ Si quedan varias huellas de frenada, se debe utilizar la longitud de la huella más larga.

- ✓ El valor de la aceleración de la gravedad que aparece en la fórmula g , siempre tiene un valor de $9,8 \text{ m/s}^2$.
- ✓ Se asume que el sistema de frenos está en buen estado, y todas las ruedas contribuyen al proceso de frenada.
- ✓

El coeficiente de rozamiento μ entre las llantas del vehículo y el piso, depende principalmente del estado y clase de la vía en la cual se dejó la huella, su valor se puede obtener de la siguiente tabla, para vehículos medianos y pequeños (camperos, camionetas busetas, Vans, automóviles):

ESTADO DE LA VÍA	VALOR DE μ
Asfalto o concreto seco	Entre 0,7 y 0,8
Asfalto o concreto húmedo	Entre 0,5 y 0,6
Asfalto o concreto inundado	Entre 0,3 y 0,5

Tabla No.1

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

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

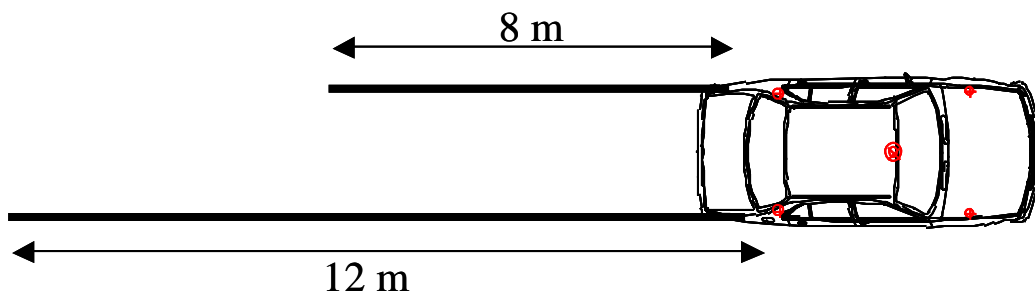
Tabla No.2

3. Cuando se utiliza la fórmula # 1 se debe de tener en cuenta los siguientes casos:

CASO # 1

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

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



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

μ entre 0,7 y 0,8 y $d = 12$ m

Primero se realiza la operación con 0,7:

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

Este valor se aproxima a 46 km/h.

Ahora con 0,8;

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

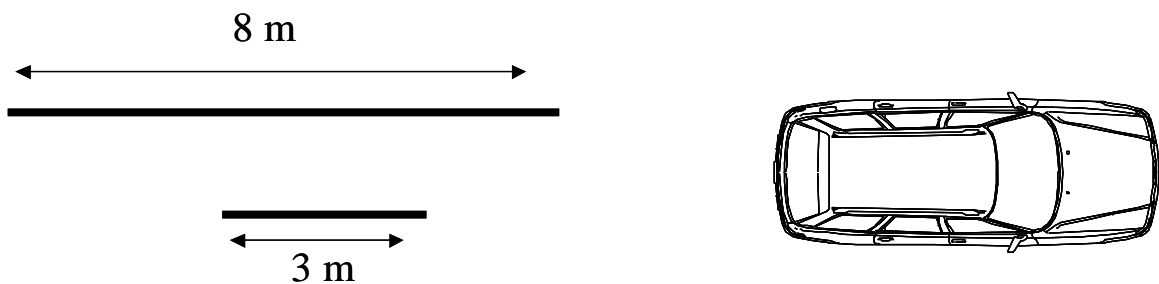
Este valor se redondea a 49 km/h.

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

CASO # 2

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

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



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

$$\mu \text{ entre } 0,7 \text{ y } d = 8 \text{ m}$$

Tenemos:

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

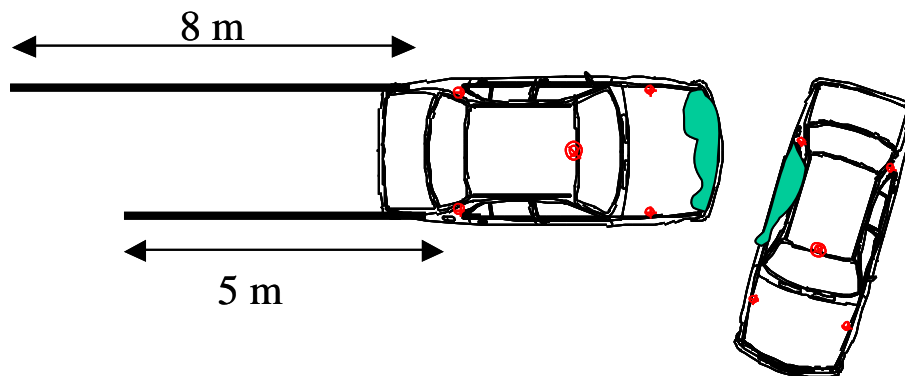
Este valor se aproxima a 38 km/h.

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

CASO #3

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

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



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

$$\mu \text{ entre } 0,7 \text{ y } d = 8 \text{ m}$$

Tenemos:

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

Este valor se aproxima a 38 km/h.

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

Bibliografía:

1. Investigation Traffic Accident Manual. University Northwestern Institute Traffic. Stannard Baker & Lynn Fike.
2. "Vehicular response to emergency braking", Walter S. Reed. University of Texas at Austin. A. Taner Keskin. ALFA Engineering, Inc. (Society of Automotive Engineers document number: SAE 879501).
3. "Motor Vehicle Accident Reconstruction and Cause Analysis, Rudolf Limpert, Fifth Edition, 1999, Lexis Publishing.
4. "Friction Applications in Accident Reconstruction" by Warner et al. (Society of Automotive Engineers document number: SAE 830612).
5. "Vehicular Deceleration and Its Relationship to Friction" Walter S. Reed. University of Texas at Austin. A. Taner Keskin. ALFA Engineering, Inc. (Society of Automotive Engineers document number: SAE 870936).