



INGENIERIA UC

Organo de Divulgación Científica y Tecnológica
de la Facultad de Ingeniería
de la Universidad de Carabobo



FACULTAD
DE
INGENIERIA
U.C.

CINEMÁTICA DE LAS RAMPAS DE FRENADO DE TAZON

Falcón Veloz, Nelson L.

**Universidad de Carabobo. Facultad de Ciencias y Tecnología. Dpto. de Física Apdo. Postal 129 Valencia
2001 Edo. Carabobo.**

Email nfalcon@thor.uc.edu.ve

Resumen

Se presenta un estudio cinemático del diseño de las rampas de frenado, existentes en el tramo Hoyo de la Puerta-Tazón de la autopista Coche-Tejerías. Se muestra que, en los disipadores de energía de las rampas, la longitudes y los coeficientes de fricción no son suficientes para detener los vehículos que ingresan en ella, Presentando un diseño inadecuado. Se proponen alternativas para el rediseño indicando los valores mínimos a longitud, contrapendientes y valores de los coeficientes de fricción para que, las rampas de frenado, cumplan s cometido.

Palabras Claves: Disipadores de Energía, rampas de Frenado.

Abstract

In the present paper the restrained ramps are revised under cinematic conditions. More specifically, the Tazón restrained ramp in the Coche-Tejerías freeway, near Caracas. This cinematic study show that, in their energy disipators, the longitud and friction coefficient is not enough to break cars, and present an inadequate road desing. New conditions above friction coefficient, contrapendent and longitud are shown and maybe employed in other restrained ramps in freeways.

Key Words: Energy disipator. Retrained ramps.

I.-INTRODUCCION.

Las rampas de frenado son tramos de desincorporación de la vía principal, provistos de dispositivos disipadores de energía, los cuales permiten reducir la velocidad de los vehículos hasta la completa paralización de la marcha (Parrilli, 1987).

Las rampas de frenado para las vías planas y de poca pendiente es el hombrillo, en las autopistas y vías de alta circulación las zonas laterales deforestadas y las islas anchas fungen como tales. La arena y sembradíos de flores constituyen los disipadores de energía. En zonas de topografía sinuosa es necesario colocar tramos de desincorporación para el frenado, con mecanismos de liberación de energía más eficientes. En las carreteras alpinas de Austria los disipadores de energía son las contrapendientes pronunciadas en las rampas de escape que convierten la energía cinética de los móviles en energía potencial gravitacional (Carciente,1984)

Otros disipadores de uso común son los barrenos y cauchos en los bordes de los autódromos con el fin de absorber la energía cinética en las colisiones completamente inelásticas de los móviles con ellos. Otra posibilidad para los disipadores de energía son el uso de "trampas de arena" como las existentes en la autopista Coche-Tejerías, en el tramo Hoyo de la Puerta-Tazón en el área metropolitana de Caracas.

Estas trampas de arena forman parte de las rampas de frenado de la conocida "bajada de Tazón", diseñadas y construidas en el bienio 1973-74 en base al estudio del Ingeniero De Val Colina (1974). Sin embargo y como es

bien conocido, la frecuencia de accidentes de tránsito con pérdidas materiales y humanas en tramo en cuestión, e incluso dentro de las propias rampas de frenado, hacen presumir que la implantación de las mismas no ha cumplido con su cometido.

En el presente trabajo se evalúan las rampas de frenado existentes en el tramo Hoyo de la Puerta-Tazón de la autopista Coche-Tejerías. Primeramente revisaremos las consideraciones (teóricas del diseño original de las rampas, conocido como el proyecto De Val Colina (1974) (II). Seguidamente se muestran los resultados de su inspección (III). Posteriormente se calculan expresiones para la distancia mínima de frenado de los vehículos e la citada vía (estudio cinemático) y las condiciones que deben cumplir las rampas de frenado para cumplir con su cometido (IV Finalmente se discuten los resultados y proponen alternativas; para el rediseño de las rampas de frenado de Tazón (V).

II.- PROYECTO DE VAL COLINA

El Proyecto de De Val Colina (1974), no publicado, constituyó el informe técnico realizado por la Dirección General de Vialidad del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (Venezuela) con fecha del 01-11-1973 . El mismo constó de una par experimental que consistió en determinar empíricamente la eficiencia de una trampa de arena para detener la marcha de un camión de 3,9 toneladas en la carretera principal de la península de Paraguaná (Edo. Falcón, Venezuela) concluyendo que tal trampa de arena es un dispositivo eficiente y económico como disipador de energía.

Es de notar, sin embargo que en la implantación de estos disipadores de energía en el tramo Hoyo de la Puerta-Tazón no se consideró las diferencias climatológicas y ambientales, cuya humedad y pluviosidad compactan la trampa de arena y disminuyen su efectividad. Por otra parte los ensayos consistieron en medir empíricamente la distancia de frenado en siete (07) ocasiones y los tiempos empleados en recorrer 300 metros. Tales resultados no fueron sistemáticos ni corroborados posteriormente, ni se variaron las condiciones inherentes al vehículo, más aún las pruebas se efectuaron suponiendo la pérdida del sistema de frenos a sólo 10 metros de la entrada del disipador de energía.

Sin embargo la idea de utilizar las trampas de arena como disipador de energía ofrece condiciones óptimas debido a su carácter de material poco cohesivo e incomprensible. Las ruedas del vehículo al enterrarse en la arena trasladan el centro instantáneo de rotación al punto anterior de contacto de la rueda con la superficie de la arena. En estas condiciones, el vehículo tiende a levantarse, en tal forma que su propio peso, al oponerse a esa tendencia, contribuye a disipar la energía cinética inicial.

En el análisis teórico del proyecto citado, se supone una rampa de frenado sin contrapendiente y consistió en el cálculo de la distancia mínima de frenado de un vehículo, mediante la ley de conservación de la energía mecánica. Para ello se asumió, sin justificación explícita, que el coeficiente de roce cinético entre el móvil y la arena es de 0,5; arrojando como resultado una longitud de frenado de 12,6 metros para móviles a 40 km/h y de hasta 45,6 m para velocidades de los móviles tan grandes como 80 km/h. Es de notar que las longitudes de las rampas de frenado, en el diseño original coinciden con la longitud del disipador de energía (trampa de arena). Además se consideró idealmente, que el coeficiente de fricción cinético entre los cauchos y la superficie es de 0,5 por lo que las velocidades típicas de los vehículos a la entrada de las rampas de frenado y las longitudes mínimas que deben tener las mismas son subestimadas. En condiciones de humedad o/y sobrepeso de los vehículos en vías con pendientes pronunciadas estas velocidades y longitudes podrían aumentar significativamente.

III- RAMPAS DE FRENADO DE TAZON

La primera de las rampas de frenado existentes en la Autopista Coche-Tejerías (Km 7 en la progresiva+00 hacia Caracas) está formada por tres sectores: uno de 58,8 m de longitud de pavimento asfáltico, otra de 20,5 m de pavimento rígido (concreto) y una trampa de grava de 55m de longitud.

El perfil topográfico muestra una pendiente variable: 5,56% desde su acceso hasta el comienzo de la trampa de grava (disipador de energía), donde principia una contrapendiente de +3,6 %. El hecho de que la pendiente inicial sea casi el doble que la contrapendiente al final de la misma ocasiona un incremento adicional de la velocidad del vehículo cuando entra al disipador de energía, disminuyendo la eficiencia de éste.

La granulometría del material del disipador de energía (trampa de grava) estableció (Luque, B. y Padrón, C., 1993) que está compuesto por partículas de ½ pulgadas de sección transversal (44%), 5/8 pulgadas (20%) y 3/8 pulgadas (18%). Las ondulaciones e irregularidades (camellones incluidos) en la distribución de la grava puede producir un momentum angular en el tren delantero del vehículo y el consecuente giro de éste, que podría ocasionar la pérdida de control de la dirección del móvil, haciendo que se vuelque o se salga de la rampa de frenado mucho antes de detenerse.

La rampa de frenado II (ubicada en el kilómetro 5) presenta características similares a las antes descritas, posee sólo un sector asfáltico de 36,8 metros de longitud y otro, el disipador de energía o trampa de grava, de 75 m de longitud. Al igual que la rampa I, su perfil topográfico muestra una pendiente variable: descendiente (-4,6%) en el sector asfáltico y ascendente (contrapendiente) de +2,8% en el disipador. Al inicio de la rampa la cota es de 101,1 m s.n.m. y al final es de 101,5 m s.n.m. careciendo de una pendiente que asimile parte de la energía cinética del móvil en energía potencial gravitacional. La granulometría del material es muy similar al de la rampa I. Este material posee un coeficiente de fricción cinético con el caucho de $0,25 \pm 0,05$ el cual fue determinado empíricamente, en el Departamento de Física de la FACYT-UC, a través del ángulo crítico en el cual el neumático principia su movimiento sobre un plano inclinado β grados, en estas condiciones (Sandor, B. 1980) se tiene:

$$\mu_c = \tan \beta \quad (1)$$

IV- ESTUDIO CINEMÁTICO

Se calculará la velocidad de los móviles al entrar a la rampa de frenado, mediante la conservación de la energía mecánica, supuesto que comienza su descenso desde una altura h con una energía inicial E_i y llega al borde mismo de la rampa de frenado con energía final E_f .

De acuerdo con el diagrama de fuerzas de la figura 1, el trabajo T realizado por la fuerza de roce con el pavimento, para un vehículo de masa m , es:

$$|T| = -\mu_p mgd \quad (2)$$

donde g es la constante de aceleración de gravedad y μ_p es el coeficiente de fricción cinético entre los neumáticos y el asfalto.

Por otra parte, de la geometría de la figura 1 se observa que la distancia d recorrida por el vehículo, desde que principia su descenso sin frenos hasta la entrada a la rampa es:

$$d \cong \frac{h}{\sin \alpha} \quad (3)$$

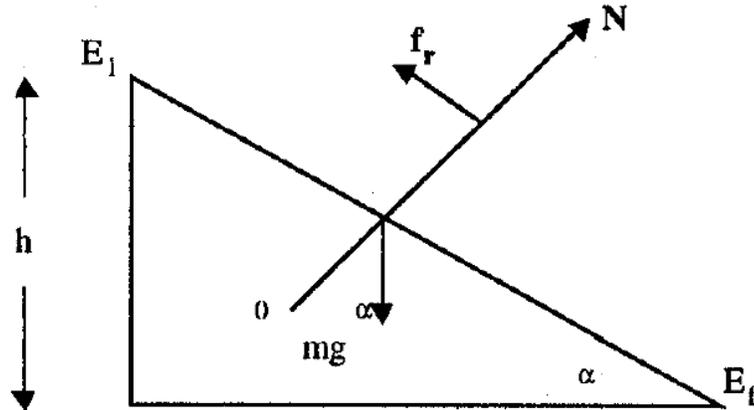


Fig. 1 Diagrama de Fuerzas en el Plano descendente Hoyo de la Puerta - Tazón

De la conservación de la energía mecánica se tiene, usando la ecuación (3) y el hecho de que la energía inicial (E_i) es la suma de las energías cinética y potencial:

$$(4) \quad \frac{1}{2}mv_0^2 + mgh - \mu_p mgh \cot \alpha = \frac{1}{2}mv_f^2$$

Con lo cual la velocidad del vehículo al inicio de la rampa, en función de la velocidad v_f , del móvil antes de perder la capacidad de frenado, es:

$$v_f = \pm \sqrt{v_0^2 + 2gh(1 - \mu_p \cot \alpha)} \quad (5)$$

Nótese que si $h = 0$ se obtiene el caso simple, utilizado por el Ing. De Val Colina en el diseño original de las rampas, y que no es aplicable a las rampas de frenado de Tazón, en donde la prolongada pendiente descendente incrementa significativamente la velocidad de los vehículos.

En condiciones de humedad, aceite en el pavimento, etc. el coeficiente de fricción μ_p será despreciable y el cuadrado de la velocidad del vehículo justo antes de entrar a la rampa habrá aumentado una cantidad igual a $2gh$. Conocida la velocidad del móvil al inicio de la rampa de frenado, podemos estimar la longitud de la rampa y la magnitud de la contrapendiente para que el móvil se detenga completamente. Sea β la inclinación de la rampa de frenado (en contrapendiente), empleando el teorema de conservación de la energía mecánica y suponiendo que el móvil carece de energía cinética al final de la rampa de longitud d , se cumple que:

$$\frac{1}{2}v_f^2 = mgd \sin \beta + \mu mgd \cos \beta \quad (6)$$

en donde μ es el coeficiente de roce cinético entre los neumáticos y el material friccionante de la superficie del disipador de energía (trampa de arena, grava, etc.).

De las ecuaciones (6) y (7) obtenemos, la longitud máxima de frenado del móvil o equivalentemente la mínima longitud de la rampa de frenado:

$$d = \frac{\frac{v_0^2}{2g} + h(1 - \mu_p \cot \alpha)}{\mu \cos \beta + \sin \beta} \quad (7)$$

Si los ángulos β y α son ambos nulos, se obtiene el caso particular de una rampa sin contrapendiente y en terreno plano, como es el caso estudiado en el proyecto teórico en que se fundamentó el diseño de las rampas de frenado de Tazón. Evaluaremos las ecuaciones (1) y (7) para algunos casos particulares referentes a las rampas de frenado 1 y 2 de Tazón, las cuales tienen contrapendientes de $\beta_1 = 2,86^\circ$ y $\beta_2 = 5,71^\circ$ respectivamente.

Suponiendo que un vehículo pierde su capacidad de frenado cuando su velocidad de circulación es la reglamentaria (15 km/h para vehículos de carga) y que su altura respecto a la entrada de la rampa de frenado es de sólo 14 metros (correspondiente a la cota 1070 a 1056 para la rampa 1 y de 113,4 a 994 para la rampa 2) se obtienen distancias de frenado de 127 y 147 m respectivamente, lo cual excede las longitudes máximas de los disipadores energía existentes en Tazón. Si la velocidad es de 40 km/h (correspondiente a la velocidad de circulación de vehículos de hasta toneladas de peso) se obtienen distancias tan grandes como 38 y 328 m. En condiciones de óptima fricción ($\mu = 0,5$) las distancias de frenado serían de 81 y 74 m (para velocidades de 15 km/h) y hasta 208 y 192 m (para velocidades de 40 km/h). En ambos casos se excede las longitudes de los disipadores de energía y en el caso real de fricción con grava $\mu = 0,25$ excede también la longitud total de las rampas de frenado.

Si el vehículo pierde su capacidad de frenado a distancias mayores respecto a la entrada de las rampas, es decir a 300 metros o más las distancias de frenado pueden incrementarse hasta 600 u 800 m, lo cual parece explicar por qué la mayoría de los móviles que ingresan a las rampas de frenado terminan chocando fuertemente contra el final de las mismas o volcándose por colisión contra los camellones antes de detener su marcha suavemente en el interior del disipador de energía.

V.-CONCLUSIONES

Los resultados indican que las actuales rampas de frenado existentes en Tazón no tienen la longitud mínima necesaria para disipar la energía cinética de los vehículos que pierdan capacidad de frenado.

El uso de rampas de frenado con contrapendiente uniforme, disipadores de energía de arena fina y longitudes de entre 4 a 5 veces las longitudes de las rampas actuales parece ser una alternativa eficaz, y desde el punto de vista físico correcta para disminuir la energía cinética de los móviles. Otra posibilidad es incrementar la longitud de las rampas utilizando el hombrillo, llenándolo de grava y haciendo que este funcione todo como una rampa de mayor longitud, pues la orografía de la zona podría limitar la extensión de las rampas existentes.

Desde una perspectiva teórica en el diseño de las rampas de frenado deben considerarse las condiciones reales de los disipadores de energía en cuanto a longitud mínima y coeficiente de fricción, pudiendo incrementarse su eficiencia mediante contrapendientes uniformes.

REFERENCIAS

1. Carciente, J. (1984) Carreteras: Estudio y Proyecto. Edit. Vegas Caracas.
2. De Val Colina, C. (1974) "Autopista Coche-Tejerías Tramo Hoyo de la Puerta-Tazón, control de accidentes provocados por vehículos sin frenos". Informe Técnico (No publicado). Ministerio de Transporte y Comunicaciones. Caracas.

3. Luque, B. y Padrón, C. (1993) "Caracterización de las rampas de Frenado en la Autopista Coche-Tejerías". Tesis de Grado. Facultad de Ingeniería. Universidad José María Vargas. Pág. 3 50. Caracas.
4. Parrilli, Z. (1987) "Normas para el Diseño geométrico de rampas Condiciones Críticas". Tesis de Grado. UCV Caracas.
5. Sandor, B. (1980) Ingeniería mecánica: Dinámica. Edit. Prentice-Hall México. Pág. 561 y ss.