

Dispositivos reductores de velocidad vehicular: Hacia el desarrollo de nuevos diseños

Speed Reduction Devices. Towards a New Design's Development

Fredy Alberto Guío Burgos*

Resumen

Expone el resultado de varias pruebas de campo realizadas a dos dispositivos reductores de velocidad vehicular, basados en la generación de ilusiones o efectos ópticos, que inducen al conductor a disminuir la velocidad de marcha; se evaluó el desempeño de los diseños mediante estudios de velocidad de punto del tipo antes y después, mediante pruebas de hipótesis estadísticas que demostraron que la reducción obtenida fue significativa para la mayoría de los usuarios, excepto algunas categorías de vehículos. Los resultados obtenidos son alentadores; se espera que en próximos estudios se logren definir las características óptimas de un diseño que pueda ser implementado en las carreteras colombianas.

Palabras clave: Reductor de velocidad, Accidentalidad vial, Seguridad vial.

Abstract

It shows the field tests' results of two speed reducers devices, based on the illusions' generation or optic effects that induce the driver to diminish the travel speed. The designs performance were previously evaluated by means of some spot speed studies, the type before and later, throughout the tests of statistical hypothesis, which demonstrated that the obtained reduction was significant for most users, except for some vehicles categories. The obtained results are encouraging, and it is expected that in the next studies it will be possible to define the optimal characteristics of a design that can be implemented in the Colombian's highways.

Key words: Reducer of Speed, Traffic Injuries, Safety.

Ingeniero en Transporte y Vías; Magíster en Ingeniería con énfasis en Tránsito; Especialista en Infraestructura Vial. Docente del área de Ingeniería de Tránsito, Escuela de Transporte y Vías, Facultad de Ingeniería, Uptc. ingefreg@gmail.com - fguio@tunja.uptc.edu.co

I. Introducción

Un dispositivo reductor de velocidad es un elemento que debe implementarse en puntos específicos de aquellas vías que, por sus características de peligrosidad para los usuarios, requieren un control adicional al flujo vehicular mediante la reducción de la velocidad de punto [1]. Los reductores de velocidad deben complementar la señalización vertical y la demarcación horizontal de la vía; por esta razón, además de advertir en cierta forma la peligrosidad de un sector crítico en una vía, deben lograr su objetivo fundamental: disminuir la velocidad de los vehículos. En Colombia se cuenta con los siguientes dispositivos reductores de velocidad [2]:

- **Líneas reductoras de velocidad**

Son una serie de líneas de color blanco colocadas perpendicularmente respecto al eje de la vía, que abarcan solamente el carril de circulación; tienen por objeto causar una ilusión óptica al conductor, para que disminuya su velocidad. Se emplean generalmente en los pasos a nivel de peatones y en zonas de alto riesgo de accidente. La distribución de las líneas obedece a un espaciamiento logarítmico. La distancia longitudinal y el número de líneas requeridas para estas marcas están en función de la diferencia entre la velocidad de proyecto o de operación de la vía y la velocidad requerida para la restricción.

- **Resaltos**

El resalto es un elemento estructural fijo, consistente en la sobreelevación transversal del plano vial a través de un dorso curvo, que tiene como función inducir coactivamente una reducción de la velocidad del flujo vehicular en puntos donde se presenta alta conflictividad, y, en especial, disminuir el riesgo a que se encuentran expuestas algunas categorías de usuarios vulnerables. Es el reductor de velocidad más restrictivo para los conductores e incrementa los niveles de vibración y de ruido en la zona aledaña. Su aplicación debe obedecer rigurosamente a

especificaciones técnicas de carácter constructivo y debe estar precedido de la señalización vertical y horizontal correspondiente. Los resaltos deben ser pintados exclusivamente de color amarillo y con pintura reflectiva.

- **Resalto virtual**

Se denomina resalto virtual a una demarcación sobre la superficie del pavimento que busca generar en el conductor la sensación de estar observando un resalto. Corresponde a la demarcación de un rectángulo de 4 m por el ancho total de la calzada, que contiene una serie de franjas oblicuas de 1 m, inclinadas a 45° y de colores amarillo y blanco. El uso de estos elementos se recomienda en zonas residenciales, ya que no generan ruido ni vibraciones.

- **Resaltos portátiles**

Son dispositivos elaborados en caucho, plástico o cualquier otro material sintético de bajo peso y de alta resistencia al impacto, que se instalan sobre la superficie de la vía como reductores de velocidad temporales.

- **Sonorizadores**

Un sonORIZADOR es un dispositivo de concreto armado y corrugado construido a nivel del suelo, el cual causa trepidación y ruido cuando los vehículos sobrepasan la velocidad máxima permitida, transmitiendo a sus ocupantes una pequeña molestia. Su función es inducir a los conductores a reducir la velocidad de operación en sitios en donde existen riesgos de accidentalidad. Su localización requiere atención especial debido al alto grado de vibración y de ruido que generan.

- **Bandas sonoras**

Son dispositivos fabricados con aglomerados o estoperoles, sujetos al piso mediante el uso de pinturas epóxicas, resinas termoplásticas, plásticos de dos componentes, etc., los cuales causan trepidación y ruido cuando se sobrepasa la velocidad

máxima permitida, transmitiendo una pequeña molestia a los ocupantes de los vehículos. La altura de las bandas sonoras determina el nivel de impacto en los conductores, por lo cual se define de acuerdo con el nivel de restricción que se quiera obtener; en todo caso no deben sobresalir del pavimento más de 3 cm. Suelen utilizarse en parejas separadas en progresión logarítmica, para generar en el conductor un efecto óptico-sonoro de aceleración del vehículo, que lo induzca a reducir la velocidad de operación.

• Otros reductores de velocidad

Comúnmente se utilizan otros elementos que sirven como reductores provisionales de velocidad, tales como lazos y cadenas. Estos elementos no deben tener un ancho superior a 5 cm.

Puede notarse que existen varias categorías de reductores de velocidad. A la primera corresponden los dispositivos más coactivos; para el caso de Colombia podemos citar el resalto, cuyo desacato o inobservancia genera inevitables efectos negativos a los ocupantes del vehículo, puesto que experimentan un violento y rápido salto. La segunda involucra la producción de ruido y vibraciones; estos diseños tienen la ventaja de ser independientes de la atención del conductor, sin inducir un nivel alto de peligrosidad; sin embargo, en la práctica se observa que el efecto de ruido y vibración puede mitigarse aumentando la velocidad. En la tercera categoría aparece la creación de ilusiones ópticas al conductor, aparentando (como en el caso de las líneas logarítmicas) un incremento de la velocidad, lo que induciría al conductor a frenar. Por último, se esboza una nueva generación de reductores que se pueden denominar dispositivos interactivos; este tipo de diseños debe permitir ajustar el efecto reductor de velocidad a las condiciones particulares de la vía, conductor, vehículo y entorno. El objeto de los dispositivos de cuarta generación es ofrecer a los usuarios un tránsito continuo y seguro, sin involucrar obstáculos en el carril de circulación, pero logrando un buen nivel de efectividad mediante la colocación

de imágenes en la vía que induzcan al conductor a reducir la velocidad hasta un nivel seguro predeterminado.

El término "exceso de velocidad" ha sido bastante difundido en el país, sin embargo, es necesario aclarar el concepto, pues su interpretación práctica se ha limitado a definir un "límite máximo" de 80 km/h en carretera, sin tener en cuenta que el exceso de velocidad está relacionado con las condiciones que ofrece el vehículo, el conductor, la infraestructura y el entorno; así por ejemplo, en algunos elementos específicos de las vías denominados críticos, tales como curvas horizontales con radios pequeños, puede resultar peligrosa la circulación a velocidades muy superiores al límite establecido legalmente; así mismo, en tramos viales multicarril es probable que resulte seguro circular a velocidades superiores al límite establecido, por lo que se estaría induciendo al conductor a transgredir la norma, o, en caso contrario, se disminuiría la eficiencia del sistema, incurriendo en pérdidas innecesarias de tiempo y reducción de capacidad.

II. Antecedentes

Las primeras investigaciones encaminadas hacia el desarrollo de nuevos dispositivos reductores de velocidad se realizaron en el año 2000, en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia; desde entonces se ha trabajado en un proceso continuo de mejoramiento, hasta llegar a la etapa actual del proyecto. Durante las primeras pruebas se diseñaron varios dispositivos que, una vez evaluados en campo, no mostraron un desempeño significativo, por lo que se buscaron posibles fuentes de error, entre los cuales se pueden citar el nivel de reflectividad de la pintura empleada y el limitado ancho de las líneas [3]. Posteriormente, en el año 2004, se desarrolló una metodología para realizar animaciones que pudiesen permitir la selección preliminar del diseño antes de ser llevado a campo; también se perfeccionaron algunos diseños, lo que llevó a la simulación del que se muestra en la figura 1.

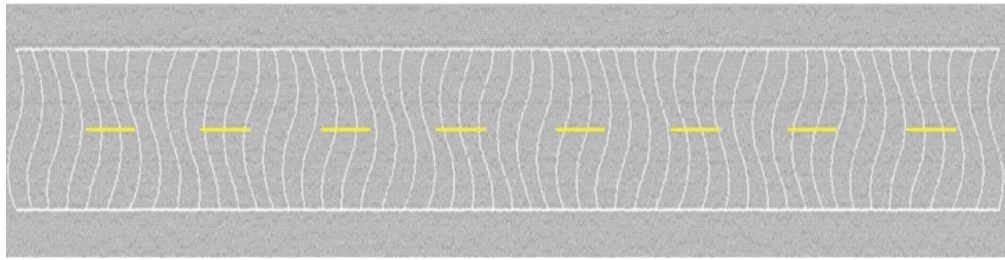


Figura 1. Dispositivo simulador de ondulaciones.
Fuente: Ministerio de Transporte [2]

III. Diseño metodológico

La efectividad de un dispositivo reductor de velocidad se puede determinar mediante estudios del tipo "antes y después", en los cuales se realiza una caracterización de las velocidades en el tramo de prueba antes de implementar el dispositivo reductor, y luego se compara este comportamiento con el observado después de implementado el dispositivo. El objeto de estos estudios es demostrar una reducción estadísticamente significativa de la velocidad de los vehículos [4].

Una de las etapas fundamentales de la prueba es

definir el tramo en el que se va a realizar, puesto que este debe tener unas características especiales, como presentar niveles altos de accidentalidad, velocidades específicas altas y una capa de rodadura en buen estado, entre otras [5].

En la figura 2 se muestra la fotografía de uno de los tramos de prueba seleccionados en el estudio; corresponde al sector de "Florencia", ubicado en la vía Tunja-Villa de Leyva; se destaca que se observa una señal reglamentaria SR-30 (velocidad máxima), ya que la totalidad de las velocidades registradas es superior a este límite (ver figura 5).



Figura 2. Tramo de prueba.
Fuente: Guío, Fredy; Martínez, Germán y Rodríguez, Luis [6]

La medición de velocidades de punto fue realizada mediante el uso de un sensor de tipo radar de microondas con aproximación a 1 km/h. La duración del periodo de toma osciló entre 1 y 3 horas, dependiendo del volumen de tránsito, de manera que se garantizara el tamaño muestral mínimo.

Para la materialización del dispositivo se usó pintura plástica, ya que es la adecuada en la demarcación vial. La aplicación de esta pintura se hace por medio de equipo especializado, dado que debe hacerse con

una fuerza de 3600 PSI, para garantizar que penetre en el pavimento y, por ende, mayor durabilidad; en esta tarea se contó con la colaboración del personal del Instituto de Tránsito de Boyacá (ITBOY) que hace la demarcación vial en las carreteras departamentales, y cuentan con los equipos adecuados para esto.

El diseño evaluado en el tramo fue el denominado "simulador de reducción de carril" que se muestra en la figura 3.

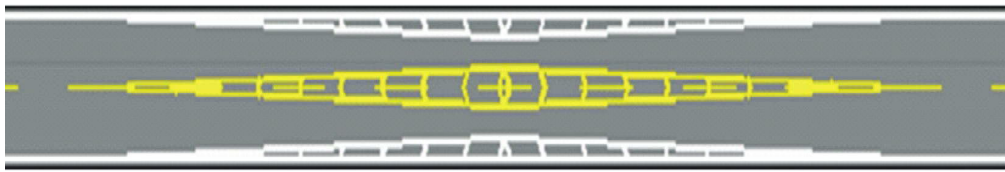


Figura 3. Dispositivo simulador de reducción de carril.
Fuente: Guío, Fredy; Martínez, Germán y Rodríguez, Luis [6]

La finalidad de este dispositivo es causar en el conductor, tan pronto lo visualice, la sensación de una reducción del ancho de carril, para que sienta la necesidad de disminuir la velocidad; el efecto reductor va aumentando a medida que se avanza sobre el dispositivo [2].

El dispositivo está formado por tres figuras geométricas ubicadas en el centro y bordes de la calzada; las figuras de borde son dos triángulos isósceles con líneas de 12 centímetros de ancho, localizados sobre la línea blanca, con una extensión de 80 metros, que es la longitud del dispositivo. Dentro de los triángulos se ubican una serie de líneas de 30 centímetros de ancho, con separación de 4 metros y con una inclinación de 120 grados respecto

a la línea de borde en la dirección del tránsito los primeros 40 metros; en los siguientes 40 metros la inclinación sufre una variación a 60 grados. La figura ubicada en el centro de la calzada es un rombo formado por 2 triángulos isósceles que tienen la misma descripción de los triángulos mencionados anteriormente; cada triángulo parte de la línea eje de vía.

Dentro del desarrollo del estudio se evaluó el desempeño de otro dispositivo reductor de velocidad, denominado "rampas simuladoras de resalto" (figura 4). Este diseño fue materializado en un tramo vial de la carretera Tunja-Moniquirá, en las inmediaciones de la ciudad de Tunja, aproximadamente a 500 metros del semáforo del sector "La María".

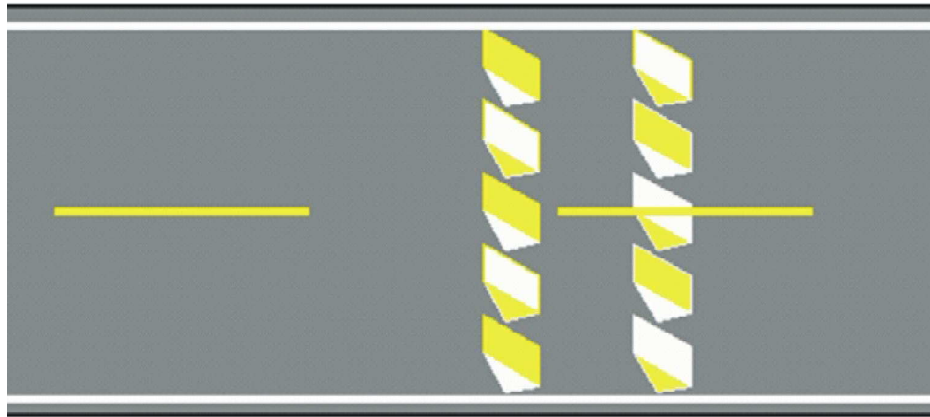


Figura 4. Rampas simuladoras de resalto.

Fuente: Cárdenas, Daniel; Guío, Fredy y Sierra, Giovanni [3].

El objeto de este dispositivo es dar la sensación de presencia de varias líneas de resaltos, induciendo un mayor efecto en el conductor, ya que se asume que este conoce la sensación causada por el resalto verdadero [6]. Está compuesto por seis líneas de supuestos resaltos dispuestos perpendicularmente al eje de la vía; estas líneas están ubicadas en grupos de dos, con separación de 2 metros entre ellas y de 40 metros entre los grupos. La longitud total ocupada por el dispositivo es de 80 metros. Cada línea de resaltos está conformada por 5 figuras compuestas cada una por un rectángulo y un triángulo, situados de tal forma que dan la sensación de rampa. Las dimensiones de cada figura se indican en las características geométricas del dispositivo.

Los colores empleados en este diseño son el blanco y el amarillo, que son los utilizados en la demarcación de la mayoría de resaltos verdaderos, y están dispuestos de tal forma que la rampa muestre cierta elevación. Se pinta en la primera figura el rectángulo amarillo y el triángulo blanco; en la siguiente figura se invierten los colores, y así sucesivamente hasta

completar la línea de cinco figuras; en la siguiente línea la primera figura se inicia con el rectángulo de color blanco y el triángulo de color amarillo y en la siguiente figura de la línea se vuelven a invertir los colores. Este proceso se repite para los tres grupos de líneas.

IV. Resultados

Una vez realizada la toma de información, antes y después de implementados los diseños, se procedió a la etapa de análisis de datos, que se muestran en la tabla 1.

La distribución de las velocidades es la característica que brinda la mayor información respecto al impacto del diseño en la corriente de tránsito, de manera que se esperaría observar un impacto mayor en el rango de velocidades más altas; como se observa en la figura 5, el diseño generó una reducción más o menos constante a lo largo de toda la distribución de velocidades, con un leve aumento para velocidades por encima del percentil 90.

Tabla 1. Datos observados en la vía Tunja-Villa de Leyva

Análisis de datos	Antes	Después
Total de vehículos Tunja-Villa de Leyva	600	600
Total automóviles en la muestra	401	360
Total buses en la muestra	94	110
Total camiones en la muestra	87	109
Total motocicletas en la muestra	18	21
Duración de la toma de datos	395 min	395 min
Media aritmética de la muestra	66,81	61,20
Velocidad máxima medida	114	89
Varianza de la muestra(²)	154,25	247,96
Desviación estándar()	12,41	15,74
Percentil 50	67	61
Percentil 85	78	72
Nivel de confianza	95%	95%
Error admisible	5%	5%
Valor de Z	1,96	1,96
Coefficiente de variación (Desv. están./media)	0,18	0,25
Tamaño muestral mínimo (n)	54	102
Valor de Z de la medición	6,58	4,76
Nivel de confianza de la medición	99,00%	99,00%

Fuente: Guío, Fredy; Martínez, Germán y Rodríguez, Luis [6]

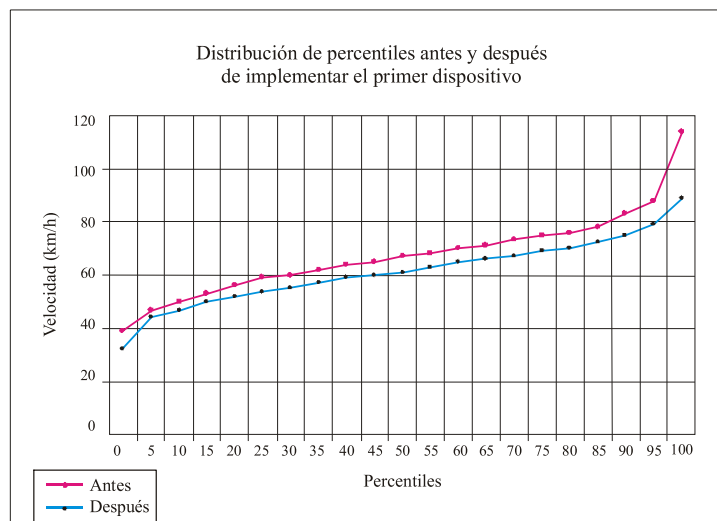


Figura 5. Desempeño del dispositivo simulador de reducción de carril.

Fuente: Guío, Fredy; Martínez, Germán y Rodríguez, Luis [6]

Para determinar si la reducción observada en la velocidad media de los vehículos es significativa, se utilizó la prueba de hipótesis mediante el siguiente proceso:

Prueba de hipótesis:

Consideremos las siguientes variables:

X_0 = Promedio de velocidades tomadas en campo antes de ubicar el primer dispositivo.

X_1 = Promedio de velocidades tomadas en campo después de ubicar el primer dispositivo.

σ_0 = Desviación estándar de las velocidades antes de implementar dispositivo.

σ_1 = Desviación estándar de las velocidades después de implementar dispositivo.

n_0 = Tamaño de la muestra antes de implementar dispositivo.

n_1 = Tamaño de la muestra después de implementar dispositivo.

Para este caso se tiene:

$X_0 = 66.81$ $\sigma_0 = 12.41$ $n_0 = 600$

$X_1 = 61.20$ $\sigma_1 = 15.74$ $n_1 = 600$

1. Hipótesis nula $X_0 = X_1$
2. Hipótesis alterna $X_0 > X_1$
3. Nivel de significancia $\alpha = 0.05$ (5%)
4. Criterio: debido a que la probabilidad de cometer un error tipo I (el rechazo de la hipótesis nula cuando es verdadera) es mayor cuando $X_0 = X_1$, se procede como si se estuviera probando la hipótesis nula $X_0 =$

X_1 , enfrentándola con la hipótesis alterna $X_0 > X_1$, utilizando un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. Por esta razón, la hipótesis nula se debe rechazar si su región crítica $Z < -1.645$, donde:

$$Z = \frac{X_1 - X_0}{\sqrt{\frac{\sigma_0^2}{n_0} + \frac{\sigma_1^2}{n_1}}} \quad (1)$$

5. Cálculos:

$$Z = \frac{61.20 - 66.81}{\sqrt{\frac{12.41^2}{600} + \frac{15.74^2}{600}}} = -6.85$$

6. Decisión:

Rechazar $X_0 = X_1$, debido a que el valor de $Z = -6.85$, es menor que -1.645 , se puede concluir que la reducción de velocidad para la totalidad de los vehículos en el primer dispositivo (reductor ancho de carril) **es significativa**.

El mismo procedimiento fue utilizado para el análisis del desempeño del otro dispositivo reductor evaluado, para el que también se realizó el análisis por tipos de vehículo y por sentido de circulación. Los datos y resultados pueden observarse en la tabla 2 y en la figura 6.

Tabla 2. Datos observados en la vía Tunja-Moniquirá

Análisis de datos	Antes	Después
Total de vehículos Tunja-Moniquirá	600	600
Total automóviles en la muestra	395	409
Total buses en la muestra	100	85
Total camiones en la muestra	88	81
Total motocicletas en la muestra	17	25
Duración de la toma de datos	335 min	335 min
Media aritmética de la muestra	61,09	55,36
Velocidad máxima medida	95	83
Varianza de la muestra (s^2)	118,65	86,06
Desviación estándar (s)	10,89	9,27
Percentil 50	61	55
Percentil 85	72	66
Nivel de confianza	95%	95%
Error admisible	5%	5%
Valor de Z	1,96	1,96
Coefficiente de variación (Desv. están./ media)	0,17	0,16
Tamaño muestral mínimo (n)	49	44
Valor de Z de la medición	6,86	7,30
Nivel de confianza de la medición	99,00%	99,00%

Fuente: Guío, Fredy; Martínez, Germán y Rodríguez, Luis [6]

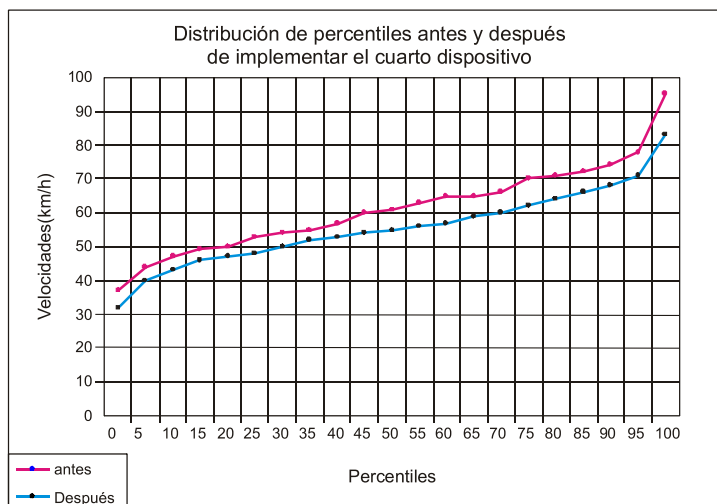


Figura 6. Desempeño del dispositivo "rampas simuladoras de resalto".

Fuente: Guío, Fredy; Martínez, Germán y Rodríguez, Luis [6].

Para este diseño muestra un valor de Z calculado (1)

$$Z = \frac{55.36 - 61.09}{\sqrt{\frac{10.89^2}{600} + \frac{9.27^2}{600}}} = 9.81$$

Por lo tanto, la reducción de la velocidad para la totalidad de los vehículos registrados en el tramo es **significativa**.

Sin embargo, al realizar el análisis para las diferentes categorías de vehículos se encontró que algunas de ellas no presentaron una reducción de velocidad significativa, estas fueron: camiones en sentido Tunja-Villa de Leyva, automóviles en sentido Villa de Leyva-Tunja y camiones en sentido Tunja-Moniquirá.

V. Conclusiones

Al realizar el análisis estadístico para la totalidad de la muestra, datos agrupados por sentido de circulación y según el tipo de vehículo, se comprobó que los dos dispositivos probados en campo tienen el efecto deseado, que es disminuir la velocidad; esto lo demuestran las diferencias en las medias aritméticas y las pruebas de hipótesis.

El dispositivo "rampas simuladoras de resalto" logró un mayor éxito, posiblemente debido a que es el único tipo de señalización y demarcación existente en la vía.

El dispositivo simulador de "reducción de carril" causó un efecto mínimo en los automóviles que circulan en el sentido Villa de Leyva-Tunja; esto se observó en las medias aritméticas, que presentan una variación mínima, y en la prueba de hipótesis no significativa; una de las posibles razones puede ser

que el dispositivo en ese sentido se encuentra precedido por una variación muy pronunciada de la pendiente.

Los resultados muestran que existe una variación en el efecto reductor de velocidad en función del tipo de vehículo, lo que indica que la altura del ojo del conductor es un factor que debe tenerse en cuenta en el perfeccionamiento de los diseños; así mismo, la relación peso-potencia de los vehículos podría variar los resultados en función de la pendiente longitudinal de la vía.

Referencias

- [1] K. W. Ogden, *Safer Roads: A Guide to Road Safety Engineering*. Inglaterra: Avebury Technical, 1996.
- [2] Ministerio de Transporte, *Manual de señalización - Dispositivos para la regulación del tránsito en calles, carreteras y ciclorrutas de Colombia*, Bogotá, mayo de 2004.
- [3] D. Cárdenas, F. Guío y G. Sierra, *Prueba de un dispositivo no convencional para reducción de la velocidad vehicular en carreteras rurales y análisis de efectividad bajo condiciones controladas*, Tunja, Colombia, Tesis Escuela de Posgrados Facultad de Ingeniería, Uptc, 2004.
- [4] National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), *Traffic Safety Facts 1997*. EE.UU.: Department of Transportation, 1998.
- [5] G. Trinca et ál., *Reducing Traffic Injury - A Global Challenge*. Australia: Royal Australasian College of Surgeons, 1988.
- [6] F. Guío, G. Martínez y L. Rodríguez, *Diseño y prueba de efectividad de dispositivos reductores de velocidad de efecto visual para carreteras de dos carriles*. Tunja, Colombia, Tesis Facultad de Ingeniería, Uptc, 2006.

Fecha de recepción: 21 de febrero de 2008

Fecha de aprobación: 17 junio de 2008