

IMPACTO DE RESALTOS REDUCTORES DE VELOCIDAD EN AUTOMÓVILES Y SUS OCUPANTES

Antonio Jané, Universidad de los Andes, ajane1@miuandes.cl
Richard LeBoeuf, Universidad de los Andes, rleboeuf@uandes.cl
Sebastián Seriani, Universidad de los Andes, sseriani@miuandes.cl

RESUMEN

Los resaltos reductores de velocidad mal construidos producen un impacto negativo en los vehículos, sus ocupantes y los bienes materiales. Se estudiaron tres distintos tipos de resaltos: redondeado, plano y cojín. Se recolectaron las aceleraciones para distintas velocidades de pasada, con dos vehículos distintos, y se compararon con los criterios de incomodidad del ocupante y notoriedad de los resaltos. El cumplimiento de los criterios de instalación, diseño y demarcación/señalización no se cumplen, provocando así un impacto dinámico bastante alto. Razón por la cual es necesaria la remoción y nueva construcción de los resaltos que no cumplan con dichos criterios.

Palabras claves: resalto, vehículo, impacto

ABSTRACT

Poorly constructed speed humps have a negative impact on vehicles, their occupants and goods. Three different types of humps were studied: round, flat and cushion. Accelerations were measured for various speeds with two different vehicles, and compared with the criteria of discomfort for the occupant and the noticeability of the humps. The criteria for installation, design and signage/demarcation were not met, causing a rather high dynamic impact. The removal and new construction is necessary for speed humps that do not meet these criteria.

Keywords: speed humps, vehicle, impact

1 INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Santiago de Chile, se pueden destacar distintas medidas calmantes del tráfico vehicular con deflexiones verticales (CONASET, 2010), tales como lomos de toro redondeados, lomos de toro planos, acera continua y plataformas, lomillos y cojines. Los resaltos de tipo redondeado y plano pueden reducir la velocidad promedio (V_{prom}) a 30 [km/h] y los cojines la pueden reducir a 50-60 [km/h].

La instalación de los lomos de toro reducen la cantidad de muertes por impacto, pues éstos teóricamente disminuyen la velocidad promedio de circulación por la calzada. Por otro lado, cuando no se cumple la instalación/ubicación, diseño y demarcación/señalización, se desprenden impactos negativos tales como la reasignación de flujos, migración de accidentes, demoras excesivas y daños a los vehículos, ocupantes y bienes materiales.

Lecaros (2006) realizó un estudio sobre lesiones tóracolumbares en la cual se evaluaron 31 pacientes que habían sufrido algún traumatismo ocasionado por un resalto, donde planteó que al momento de pasar sobre un resalto reductor de velocidad, se produce lo que se llama el efecto catapulta. En dicho estudio, los accidentes reportados “(...) ocurrieron en distintos puntos de la ciudad, y no se repetían en los mismos, lo que probablemente indica, un factor en la normativa del diseño o construcción de los lomos que propende a esta lesión”.

Para definir una V_{prom} , es necesaria una adecuada señalización y demarcación ya que de no ser así, afecta de una manera negativa a los usuarios de la red vial (CONASET, 2003). La reducción en la V_{prom} de los vehículos en un tramo de vía, vendrá dada por el diseño geométrico del resalto, el cual va a delimitar un “factor de comodidad de pasada” para los ocupantes. Este factor está asociado al estudio de Watts (1973), el cual desarrolló unos criterios para medir la comodidad de los ocupantes de los vehículos y también la notoriedad de los resaltos sobrepasados. Para esto, Watts creó dos índices: (i) Criterio o índice de incomodidad del ocupante; (ii) Criterio o índice de notoriedad del resalto según el ocupante.

Los criterios mencionados anteriormente se mueven entre los valores 0 y 6, para los cuales el 0 se traduciría como el *cómodo* o *no notorio*, y el 6 como *muy incómodo* o *muy notoria*, según la comodidad del ocupante y notoriedad del resalto. Los ocupantes, después de pasar sobre un resalto, entregaban un valor (0; 1; 2;...; 6). Asimismo, (Watts, 1973), concluye que al aumentar la longitud del lomo de toro, los ocupantes tendían a sentirse más cómodos en comparación a un resalto con una menor longitud y una misma velocidad de pasada del vehículo.

Kjemtrup (1990) llegó a la conclusión de que existían ocupantes de vehículos que no estaban dispuestos a aceptar aceleraciones verticales máximas superiores a los 0,7g. Según la escala de incomodidad de Watts (1973), para aceleraciones verticales superiores a los 0,7g, los usuarios de los vehículos entregaban valores superiores a 2 (*algo incómodo*) como 3, 4 (*incómodo*), 5 o 6 (*muy incómodo*). Kjemtrup (1990) dijo que para que un resalto reductor de velocidad fuera efectivo, las aceleraciones verticales máximas producidas, no deberían superar los 0,5g.

Para evaluar los problemas mencionados anteriormente, se ha trazado como objetivo general evaluar el impacto dinámico de los resaltos reductores de velocidad en los automóviles y sus ocupantes. Los objetivos específicos fueron: (a) Medir la aceleración vertical de los vehículos y

sus ocupantes; (b) Comparar las aceleraciones con los criterios de comodidad de los ocupantes y notoriedad de los resaltos; (c) Verificar el cumplimiento de los criterios de instalación, diseño y señalización/demarcación de los resaltos; (d) Identificar la velocidad óptima de pasada sobre un resalto reductor de velocidad.

Para este estudio, participaron 2 ocupantes, el conductor y el pasajero (situado en el asiento trasero). Al finalizar una pasada sobre un determinado resalto, tanto el conductor como el pasajero reportaban el índice de comodidad y el índice de notoriedad.

2 METODOLOGÍA

La metodología se divide en cuatro fases: (2.1) Vehículos Utilizados; (2.2) Resaltos Reductores de Velocidad escogidos; (2.3) Evaluación de los Criterios de Instalación, Diseño y Demarcación/Señalización para los Resaltos escogidos; (2.4) Recolección de Datos.

2.1 Vehículos Utilizados

Se dispuso de un vehículo de ciudad (Volkswagen Gol 1.6) y un vehículo 4x4 (Porsche Cayenne), de tal forma de percatarse si efectivamente los impactos dinámicos ocasionados en el vehículo y sus ocupantes varían al usar vehículos distintos.

Las características de los vehículos se muestran en la Tabla 1. Se puede observar que el vehículo 4x4, tiene un peso 76% más que el vehículo de ciudad. Además, la longitud del vehículo 4x4 es 14% más largo que el vehículo de ciudad.

Tabla 1. Características Vehículos Utilizados

CARACTERÍSTICAS	MODELO	
	<u>VOLKSWAGEN GOL 1.6</u>	<u>PORSCHE CAYENNE</u>
• AÑO	2005	2009
• MOTOR	1.595 CCM	3.598 CCM
• PESO	1.175 KG	2.070 KG
• LLANTAS	195/65-R15	235/65 R17
• LONGITUD	4.210 MM	4.798 MM
• ANCHURA	1.770 MM	1.928 MM
• ALTURA	1.490 MM	1.741 MM

Fuente: Jané (2013)

2.2 Resaltos Reductores de Velocidad Escogidos para el Estudio

En la presente investigación se medirán 2 lomos de toro redondeados (L.T.R), 2 lomos de toro planos (L.T.P) y 2 resaltos tipo cojín (CJ), obteniendo medidas como la altura (h [cm]) o el largo transversal del resalto (L [cm]), y poder así compararlo con las especificaciones normadas de los diseños existentes. No se han tomado en cuenta las aceras continuas, plataformas y lomillos,

debido a la baja velocidad de pasada de los vehículos por cada uno de ellos y, también, porque no se sitúan en vías principales.

Se escogieron 6 distintos resaltos reductores de velocidad para nuestro estudio, ubicados en Santiago de Chile. En la Tabla 2 se adjuntan las características principales que tienen los resaltos estudiados, como la altura (H [cm]), el largo (L [m]) y el ancho (A [m]). Los valores de las normas se refieren a las dimensiones que deberían tener los resaltos según las normas y guías de la CONASET (2010) utilizadas en este proyecto. Los valores al lado, son los valores reales medidos en terreno.

Claramente los resaltos se encuentran bastante fuera de norma, ya que en la norma que regía a la hora de realizar este estudio (D.S. N°228/96), dicta una altura de 9,0 [cm] \pm 1,2 [cm] para los lomos de toro redondeados (L.T.R), la cual no se cumple para ninguno de los resaltos redondeados estudiados. Asimismo, el largo debería ser de 3,7 [m] \pm 5%. Los lomos de toro planos (L.T.P) estudiados, son los que más se ciñen a la norma de diseño. Se puede observar que el L.T.P-1 se encuentra dentro de las tolerancias en las dimensiones dictadas en la norma. Los resaltos tipo cojín (CJ), según la norma, deben tener una altura mínima de 5,0 [cm] y una máxima de 7,5 [cm], algo que no se cumple en ninguno de los dos resaltos elegidos. De igual forma, el largo del cojín debe tener un máximo de 2,5 [m] y un ancho máximo de 1,7 [m], medidas que se encuentran por debajo de las medidas en terreno.

Tabla 2. Características Principales de los Resaltos Estudiados

NOMBRE Y TIPO DE RESALTO	ALTURA (H [cm])		LARGO (L [m])		ANCHO (A [m])		COORDENADAS GPS
	Actual	Norma	Actual	Norma	Actual	Norma	
REDONDEADOS							
• L.T.R-1	14,7	9,0	4,2	3,7	N/A	N/A	-33.337457, -70.544083;
• L.T.R-2	10,4	9,0	4,8	3,7	N/A	N/A	-33.393577, -70.508017
PLANOS							
• L.T.P-1	9,3	9,0	6,1	6,0	N/A	N/A	-33.337695, -70.538541;
• L.T.P-2	13,5	7,5	6,8	7,8	N/A	N/A	-33.347993, -70.542667
COJINES							
• CJ-1	12,5	7,0	3,1	2,5	2,9	1,7	-33.338856, -70.555429;
• CJ-2	9,6	7,0	2,9	2,5	2,4	1,7	-33.332574, -70.531964

Fuente: Jané (2013)

2.3 Evaluación de los Criterios de Instalación, Diseño y Demarcación/Señalización para los Resaltos Escogidos

Para cada resalto reductor de velocidad que fue estudiado, se realizó una evaluación para comprobar si efectivamente se cumplen los criterios de instalación, diseño y demarcación/señalización. Para esto, Jane (2013) preparó Fichas de Criterios (ficha de identificación) en base a criterios dictados en guías y decretos (CONASET, 1996; CONASET, 2006; CONASET, 2010), de tal forma de identificar si existen fallas en los resaltos estudiados.

En las Tablas 3, 4 y 5 se adjunta un breve resumen del grado de cumplimiento de los criterios de instalación, diseño y demarcación/señalización de los resaltos reductores de velocidad estudiados.

Tabla 3. Resumen Cumplimiento Criterios Resaltos L.T.R-1 y L.T.R-2

<p><u>L.T.R-1:</u> <u>Instalación:</u> -Se cumplen un 100% de los requerimientos. <u>Diseño:</u> -Se cumplen solamente un 66,7%. -No se cumple con altura de 9,0 [cm]. <u>Demarcación/Señalización:</u> -Se cumplen un 90%. -Señal PG-8 no se complementa con señal de velocidad sugerida.</p>	<p><u>L.T.R-2:</u> <u>Instalación:</u> -Se cumplen un 100% de los requerimientos. <u>Diseño:</u> Se cumplen solamente un 66,7%. No se cumple con altura de 9,0 [cm]. <u>Demarcación/Señalización:</u> -Se cumplen un 70%. -Señal PG-8 no se complementa con señal de velocidad sugerida. -Señal PG-8 no se coloca con suficiente anticipación (25 [m] mínimo). -Errónea demarcación de líneas continuas e instalación de tachones.</p>
---	---

Fuente: Jané (2013)

Tabla 4. Resumen Cumplimiento Criterios Resaltos L.T.P-1 y L.T.P-2

<p><u>L.T.P-1:</u> <u>Instalación:</u> -Se cumplen un 88,9% de los requerimientos. -Interfiere con accesos vehiculares. <u>Diseño:</u> -Se cumplen solamente un 83,3%. -La altura no es igual a la de la solera y ésta no se rebaja al nivel del paso peatonal sobre el resalto. <u>Demarcación/Señalización:</u> -Se cumplen un 50%. -No se advierte con señal PG-8 dictada en la norma, si no que con otra distinta o “reemplazante”. -No está instalada la señal con la velocidad sugerida. -Señal P0-8 no se encuentra a ambos lados del resalto. -Errónea demarcación de líneas continuas e instalación de tachones. -No se advierte proximidad del resalto con leyenda LENTO.</p>	<p><u>L.T.P-2:</u> <u>Instalación:</u> -Se cumplen un 100% de los requerimientos. <u>Diseño:</u> -Se cumplen solamente un 66,7%. -No Se cumple la altura máxima de los 7,5 [cm] ni el ancho mínimo de 6,0 [m], para área plana, al existir circulación de buses. -Las pendientes de entrada de 1:20, al existir circulación de buses, no se cumple. <u>Demarcación/Señalización:</u> -Se cumplen un 50%. -No se advierte con señal PG-8, si no que con otra distinta o “reemplazante”. -No está instalada la señal con la velocidad sugerida. -Señal P0-8 no está acompañada con una placa adicional conteniendo una flecha inclinada y dirigida hacia el paso peatonal. -Errónea demarcación de líneas continuas e instalación de tachones. -Leyenda LENTO inexistente.</p>
---	--

Fuente: Jané (2013)

Tabla 5. Resumen Cumplimiento Criterios Resaltos CJ-1 y CJ-2

<p><u>CJ-1:</u> <u>Instalación:</u> -Se cumplen un 87,5% de los requerimientos. -No se encuentra cerca de una luminaria pública. <u>Diseño:</u> -Se cumplen solamente un 50%. -No se cumplen con medidas de largo (2,0 [m] mínimo y 2,5 [m] máximo) ni medidas de ancho (1,5 [m] mínimo y 1,7 [m] máximo). -No se respeta altura máxima de 7,0 [cm]. <u>Demarcación/Señalización:</u> -Se cumplen un 54,5%. -No es permanentemente visible, ya que no se encuentra cerca de una luminaria. -No es advertido con señal PG-8 con suficiente anticipación (25 [m] mínimo). -No está instalada la señal con velocidad sugerida. -Errónea demarcación. -Superficie del resalto no está pintada con pintura amarillo reflectante.</p>	<p><u>CJ-2:</u> <u>Instalación:</u> -Se cumplen un 87,5% de los requerimientos. -Interfiere con accesos vehiculares. <u>Diseño:</u> -Se cumplen solamente un 50%. -No se cumplen con medidas de largo (2,0 [m] mínimo y 2,5 [m] máximo) ni medidas de ancho (1,5 [m] mínimo y 1,7 [m] máximo). -No se respeta altura máxima de 7,0 [cm]. <u>Demarcación/Señalización:</u> -Se cumplen un 45,5%. -No es permanentemente visible, ya que no se encuentra cerca de una luminaria adecuada. -No es advertido con señal PG-8 con suficiente anticipación (25 [m] mínimo). -No está instalada la señal con la velocidad sugerida. -Mediana achurada no se encuentra reforzada con tachones y/o hitos verticales. -Errónea demarcación. -Superficie del resalto no está pintada con pintura amarillo reflectante.</p>
--	--

Fuente: Jané (2013)

Se puede observar después de realizada dicha evaluación para cada resalto, que ninguno de ellos sigue en un 100% los criterios de instalación, diseño y demarcación/señalización en conjunto. El diseño y la demarcación/señalización vendrían siendo los criterios que más fallas tienen.

2.4 Recolección de Datos

Se medirá al menos una componente de aceleración del conductor, pasajero y del vehículo. Dichas componentes de aceleración, obtenidas mediante el uso de acelerómetros, nos entregarán las fuerzas de gravedad (g), que son percibidas por el usuario y el vehículo, las cuales van a ser estudiadas para poder determinar el impacto dinámico ocasionado.

Se harán uso de una cámara fotográfica y un video-cámara. A través de lo observado, se pudieron crear distintos escenarios de prueba, con el propósito de establecer posibles encuentros entre los usuarios y los resaltos reductores de velocidad, de los cuales por motivos de financiamiento y tiempo, se consideró solamente un escenario el cual considere los vehículos mantienen una velocidad constante de pasada y las cuatro ruedas del vehículo sobrepasan el resalto.

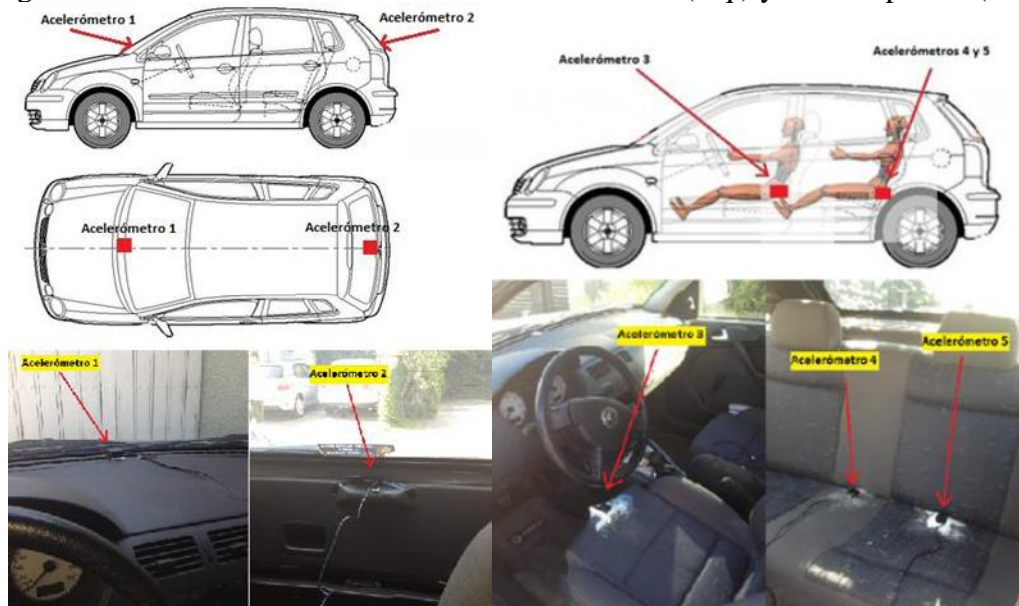
Un factor importante de este escenario, es asegurarse que la velocidad de aproximación y pasada sobre el resalto fuese la adecuada. Para esto, se hizo uso del velocímetro del panel del vehículo junto con el uso de dos programas medidores de velocidad usando un GPS. La diferencia entre la velocidad observada en el velocímetro del panel del vehículo con la velocidad dictada por los programas con GPS, se ha situado en un intervalo de ± 2 [km/h].

El impacto dinámico producido en el vehículo y los ocupantes al pasar sobre un resalto, se medirá mediante el uso de acelerómetros triaxiales, el cual nos entrega los datos recolectados en tiempo real, a una frecuencia de muestreo de 100 [Hz] y con un error no mayor al $\pm 5\%$. En estudios anteriores, se han instalado los acelerómetros en el asiento de los ocupantes (Watts, 1973). Es por ello, que la instalación de los acelerómetros en el vehículo se llevó a cabo mediante el uso de adhesivos y cintas adhesivas, de tal manera de que los acelerómetros se mantuvieran en una posición fija a la hora de sobrepasar los resaltos. En algunos casos, se reforzaban mediante el uso de alcajatas, los cuales se clavaban en el asiento del vehículo.

El impacto dinámico en el vehículo utilizado, se determinará colocando dos acelerómetros, uno en la parte delantera (Acelerómetro 1) del vehículo y otro (Acelerómetro 2) en la parte trasera (ver Figura 1, izquierda). La razón por la cual se optó por la instalación de los acelerómetros 1 y 2 en las posiciones ya mencionadas, se debe a que las fuerzas de aceleración son mayores en los extremos del vehículo, pues dichos puntos se encuentran más alejados del centro de masa.

Los acelerómetros destinados para el conductor y el pasajero, Acelerómetro 3, Acelerómetro 4 y Acelerómetro 5 (ver Figura 1, derecha), fueron situados en la base del asiento en el cual se encuentre el usuario, para así tener muestras más homogéneas o “suavizadas”. Se ha de tener en cuenta que el Acelerómetro 4 y Acelerómetro 5 representarán el impacto dinámico sobre los pasajeros en la parte trasera del vehículo, por lo que los resultados obtenidos se promediarán.

Figura 1. Ubicación de Acelerómetros en el Vehículo (izq.) y sus Ocupantes (der.)



Fuente: Jane (2013)

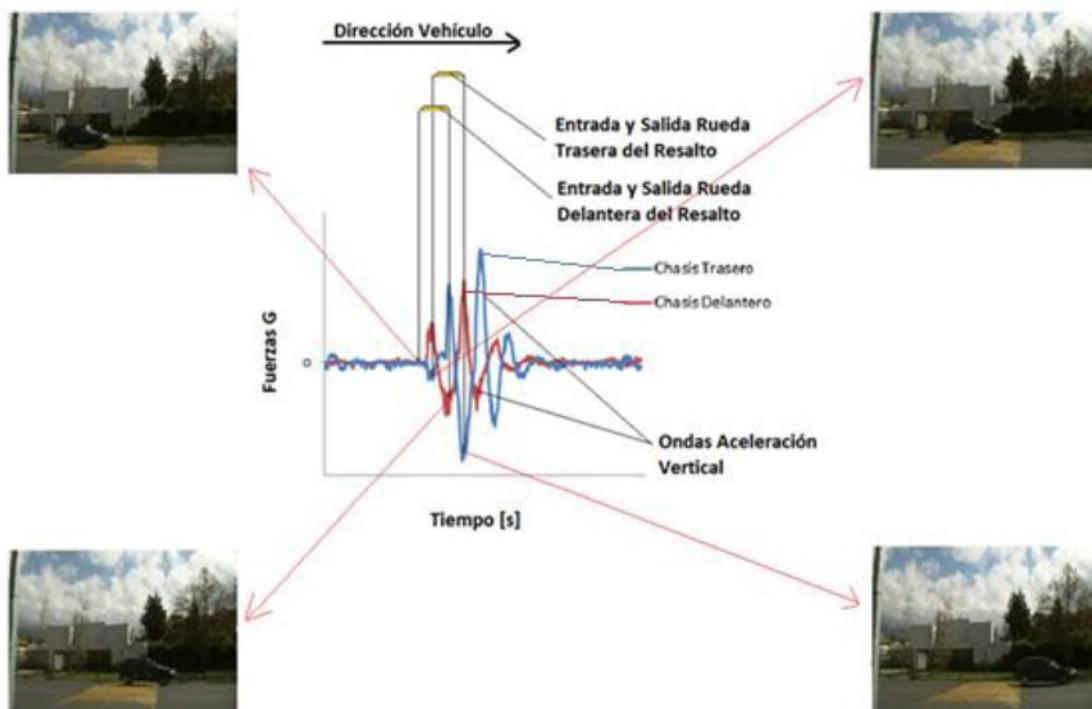
En resumen para cada prueba/test efectuado y para velocidades de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 [km/h], se tendrá un set de información conteniendo la aceleración g para los siguientes casos: (a) Chasis delantero del vehículo; (b) Chasis trasero del vehículo; (c) Conductor; (d) Pasajero. Asimismo, el impacto obtenido para un cierto tipo de resalto y a una cierta velocidad de pasada, se compararán con estudios realizados anteriormente.

El impacto dinámico sobre los usuarios, conductor y pasajero, se evaluará mediante la aceleración g percibida y también haciendo uso del índice de incomodidad del ocupante y del índice de notoriedad del resalto según el ocupante propuestas por Watts (1973). Los datos obtenidos a partir de este método, no son un resultado exacto, pero entregarán una idea en relación a la comodidad experimentada por los ocupantes del vehículo y la notoriedad del resalto según los ocupantes, al pasar por cierto resalto a una velocidad en específico. Se ha de tener en cuenta, que el criterio de comodidad y el criterio de notoriedad son independientes entre sí.

3 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE DATOS

En la mayoría de las investigaciones relacionadas con el estudio del impacto de los resaltos reductores de velocidad en los vehículos y ocupantes, se consideran solamente las aceleraciones verticales producidas. Esto se debe a que las aceleraciones producidas en el vehículo y ocupantes están en el sentido vertical. Por lo tanto, se establece que se estudiarán los máximos obtenidos para las aceleraciones del eje vertical, efectuando comparaciones versus la comodidad de los ocupantes, la notoriedad del resalto y la velocidad de pasada del vehículo.

Figura 2. Típico Gráfico con Ondas de Aceleración Vertical



Fuente: Jané (2013)

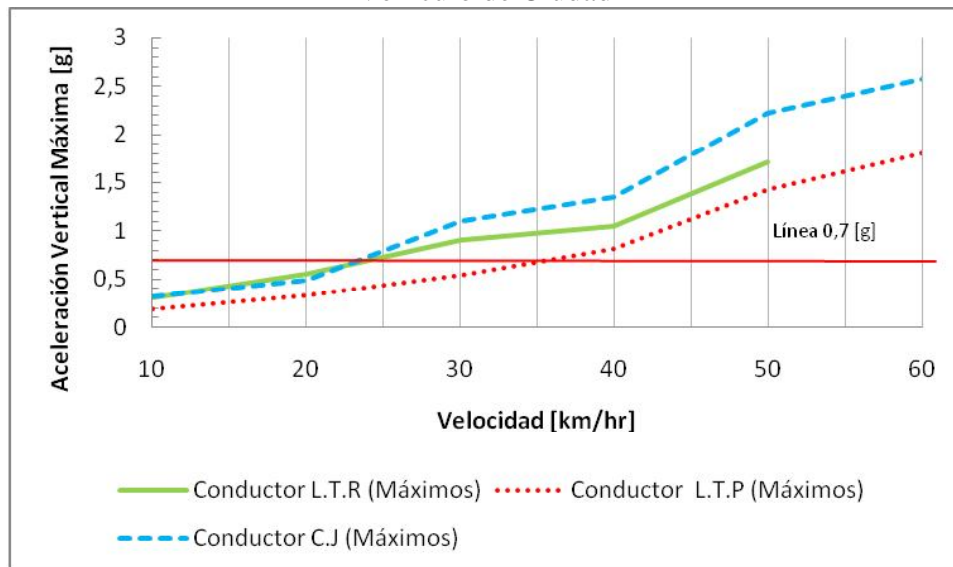
En la Figura 2 se observa un típico gráfico con las ondas de aceleración vertical para el chasis delantero y el chasis trasero obtenidas después de sobrepasar en lomo de toro. Para el caso de los ocupantes, conductor y pasajero en asiento trasero, las curvas tienen el mismo comportamiento. Una vez que el vehículo entra en contacto con el lomo de toro, la fuerza g en el sentido vertical aumenta, pues se le está aplicando una fuerza vertical tanto al vehículo como a sus ocupantes. Hay que percatarse de que los máximos de aceleración vertical g se encuentran en su mayoría

saliendo del resalto, debido a la fuerza de gravedad adicional actuando a medida que el vehículo y/o usuarios descienden del punto más alto del lomo de toro.

Los resultados y análisis se separaron según el tipo de vehículo utilizado. Para el caso del automóvil de ciudad, se realizó solamente una pasada, para las velocidades de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 [km/h], para los distintos resaltos reductores escogidos. Para el vehículo 4x4, se efectuó 1 pasada sobre todos los lomos de toro estudiados, pero para una velocidad de 30 [km/h], de tal forma de poder evaluar si existía alguna diferencia al usar vehículos distintos.

Es bastante obvio afirmar que a medida que la velocidad de pasada del vehículo sobre el resalto aumenta, también lo va haciendo la aceleración vertical, tal y como se ven en las Figuras 3 y 4. En dichas figuras se muestran los promedios de las aceleraciones verticales máximas para el conductor (Figura 3) y para el pasajero (Figura 4), a distintas velocidades de pasada y para cada tipo de resalto estudiado.

Figura 3. Promedio Aceleraciones Verticales Máximas del Conductor para L.T.R, L.T.P y CJ en Vehículo de Ciudad

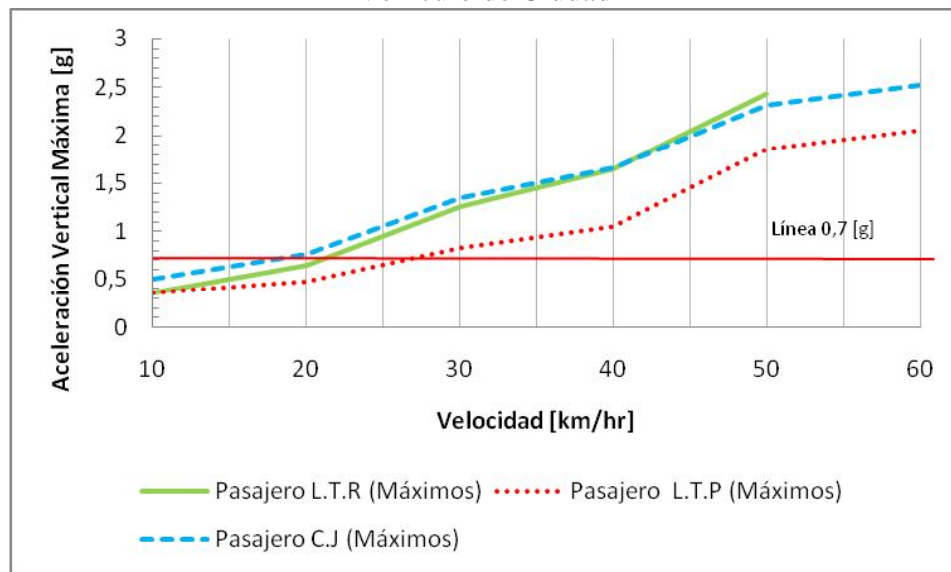


Fuente: Jané (2013)

La línea horizontal representa el límite de los 0,70g de Kjemtrup (1990), sobre la cual el resalto ya no estaría siendo efectivo en términos de la comodidad y bienestar de los ocupantes. Tomando el caso de la Figura 3, se observa que la recta que representa el impacto dinámico en el conductor al sobrepasar un resalto tipo cojín (CJ), tiene una pendiente superior al resto de los lomos de toro, indicándonos qué tan sensible es el conductor a medida que se aumenta la velocidad de pasada. Calculando el promedio general para las aceleraciones verticales máximas del conductor para cada resalto, hasta una velocidad de 50 [km/h], obtenemos 0,90g para el L.T.R, 0,66g para el L.T.P y 1,10g para el CJ, con un promedio en la velocidad de pasada de 30 [km/h]. Esto nos dice que el impacto dinámico en el conductor al pasar sobre un resalto CJ es un 22% mayor al del L.T.R y un 67% mayor que el del L.T.P.

Haciendo lo mismo para el pasajero en el asiento trasero (Figura 4), se llega a un promedio general para las aceleraciones verticales máximas de 1,26g para el L.T.R, 0,91g para el L.T.P y 1,31g para el C.J, con un promedio en la velocidad de pasada de 30 [km/h]. Así, el impacto dinámico en el pasajero al pasar sobre un resalto CJ es un 4% mayor al del L.T.R y un 44% mayor que el del L.T.P. De aquí se puede concluir que el impacto dinámico de los ocupantes es bastante alta para el caso de los cojines. Esto puede deberse al mal diseño geométrico in-situ de los resaltos estudiados, lo que se traduce en un aumento en las aceleraciones verticales. No obstante, el impacto dinámico en el chasis del vehículo de ciudad al pasar sobre un resalto tipo L.T.R no es despreciable, puesto que el promedio de las aceleraciones verticales máximas son un 6% mayores que las obtenidas en el CJ y un 70% mayores a que las del L.T.P para el chasis trasero.

Figura 4. Promedio Aceleraciones Verticales Máximas del Pasajero para L.T.R, L.T.P y CJ en Vehículo de Ciudad



Fuente: Jané (2013)

Ahora bien, si se usaran lomos de toro que cumplan con la normativa, se tendrían aceleraciones menores. Según Sayer (1999), para un resalto redondeado con dimensiones 3,7 [m] x 7,5 [cm], se obtuvo aceleraciones verticales de 0,40g (3 veces menor a las aceleraciones obtenidas en este estudio). Para un resalto plano de 8 [m] x 7,5 [cm] (Sayer, 1999), las aceleraciones eran de 0,45g (la mitad de las aceleraciones obtenidas en este estudio) para una velocidad de pasada de aproximadamente 30 [km/h] y utilizando un vehículo de ciudad.

Para un resalto redondeado con dimensiones 3,7 [m] x 10 [cm], a una velocidad de pasada de aproximadamente 32 [km/h] y utilizando un vehículo de ciudad, Watts (1973) obtuvo aceleraciones verticales de 0,93g, pero incomodidad en el pasajero considerable. Por dichas razones, Watts (1973) estableció que dichos resaltos podían ser sobrepasados con una comodidad agradable para los pasajeros a una velocidad de 10 [km/h]. En nuestro estudio, los resaltos redondeados estudiados tenían alturas superiores a los 10 [cm], pero con un largo mayor a los 4 [m], y aun así las aceleraciones verticales obtenidas en los pasajeros del vehículo para una velocidad de 30 [km/h] en un vehículo de ciudad, podían ser superiores a los 1,00g.

Tomando en cuenta la velocidad de diseño asumida de 30 [km/h] para los lomos de toro redondeados (L.T.R) y planos (L.T.P), puesto que no se especifica una en la norma, se observa que para dicha velocidad, las aceleraciones verticales máximas son bastante altas. Para los L.T.R estudiados se obtiene un promedio de 1,64g en el chasis trasero y 1,26g para el pasajero ubicado en el asiento de atrás. Por otro lado, el promedio de las aceleraciones verticales máximas en el chasis trasero y el pasajero, son de 1,04g y 0,82g, respectivamente, para los L.T.P estudiados.

Para el caso de los resaltos tipo cojín (CJ), la velocidad de diseño asumida es de 50 [km/h], velocidad a la cual se obtiene un promedio de las aceleraciones verticales máximas mayores a los 2,00g, independiente si se trata del chasis del vehículo como de sus ocupantes. Si se hubiese considerado que la velocidad de diseño para los cojines fuera la misma que la de los lomos de toro redondeados y planos, osea de 30 [km/h], el promedio de las aceleraciones verticales máximas sigue siendo mayor al límite de los 0,70g en un 120%, (alcanzando un valor de 1,54g) para el chasis trasero y en 93% (alcanzando un valor de 1,35g) para el pasajero del asiento trasero.

En Hodge (1993), se evaluaron diferentes resaltos tipo cojín, de los cuales el más cercano en términos de diseño, al que se especifica en CONASET (2010), era de 1,9 [m] de ancho x 2,5 [m] de largo x 5 [cm] de alto. Para este cojín, las aceleraciones verticales para una velocidad aproximada de 30 [km/h], llegaban a 0,58g, en comparación a los 1,50g obtenidos para los resaltos tipo cojín estudiados en este proyecto para una misma velocidad.

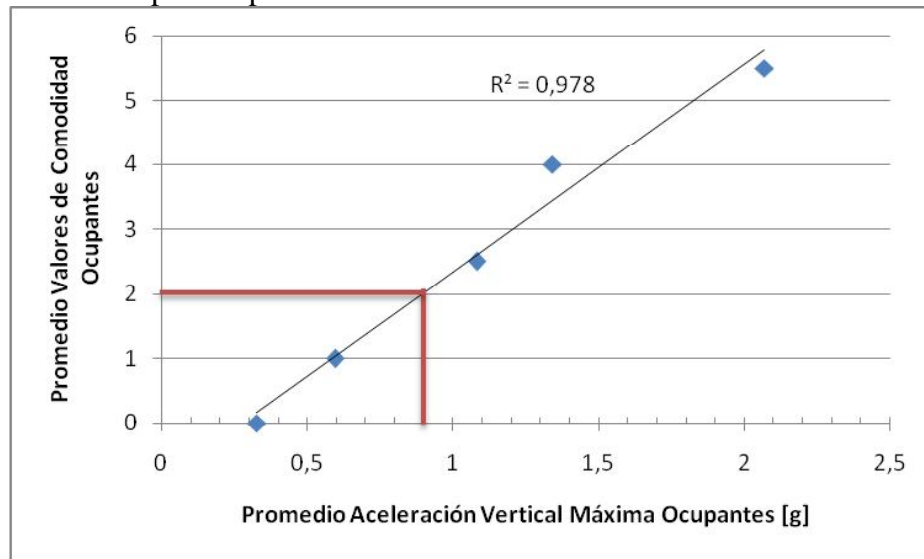
Para el caso del vehículo 4x4, las aceleraciones verticales máximas obtenidas son menores a las del vehículo de ciudad. Si nos fijamos en el impacto del chasis trasero en ambos vehículos, para una velocidad de pasada de 30 [km/h], tanto para los resaltos tipo L.T.R y CJ, las aceleraciones verticales superan los 1,00g. El L.T.R produce una aceleración vertical máxima de 1,64g en el chasis trasero del vehículo de ciudad, un 34% mayor al obtenido en el del vehículo 4x4 (1,22g). El CJ ocasiona aceleraciones verticales máximas de 1,54g en el chasis trasero del vehículo de ciudad, el cual es un 28% mayor al obtenido en el vehículo 4x4 (1,20g). No obstante, el impacto dinámico en el chasis trasero al sobrepasar un resalto L.T.P a una velocidad de pasada de 30 [km/h], llega a un máximo de 1,04g para el vehículo de ciudad, un 43% mayor al obtenido en el vehículo 4x4 (0,73g).

Para una velocidad de 20 [km/h] el índice de comodidad del ocupante no es mayor a 2 (*algo incómodo*), pero aun así la notoriedad de los resaltos L.T.R y CJ sí supera el valor de 2 (*algo notorio*). Para una velocidad de pasada de 30 [km/h], los resaltos L.T.R y CJ empiezan a ser algo incómodos, obteniendo valores de 2.5 y 3 respectivamente. Para el caso del resalto L.T.P, teniendo un promedio entre los dos resaltos L.T.P estudiados, éste empieza a ser algo incómodo para los ocupantes para una velocidad de 40 [km/h]. Algo bastante interesante, es que el índice de notoriedad de los resaltos normalmente es mayor al índice de incomodidad de los ocupantes.

Asimismo, el vehículo 4x4 a una velocidad de pasada de 30 [km/h], el promedio del índice de incomodidad de los ocupantes no supera el valor de 2 (*algo incómodo*) para ninguno de los tipos de resaltos estudiados. Aun así, la notoriedad de los resaltos L.T.R y CJ llegan a obtener un valor de 3.

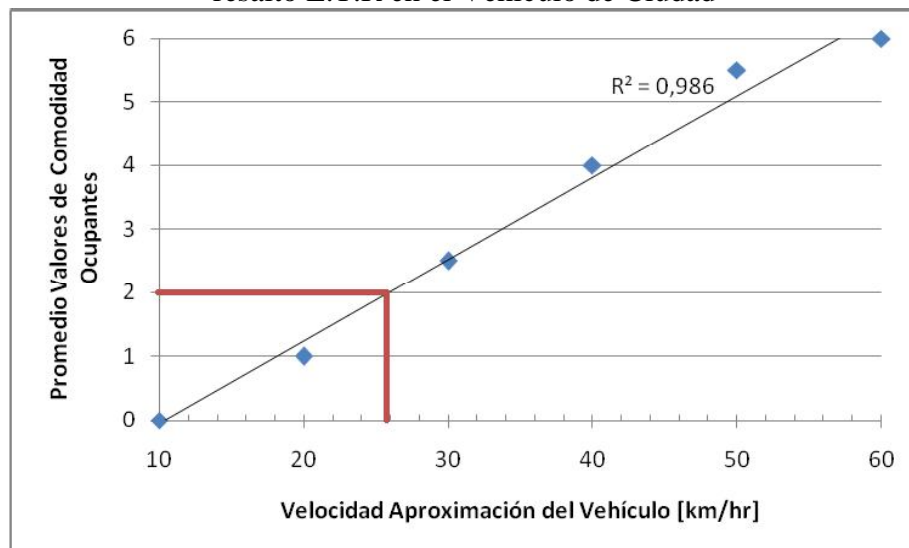
Las aceleraciones verticales máximas obtenidas y la velocidad de pasada, se pueden comparar con los valores obtenidos para los criterios de comodidad de los ocupantes y de la notoriedad de cada tipo de resalto según los ocupantes (Jané, 2013). Para el caso de los lomos de toro redondeados (L.T.R) estudiados, en el vehículo de ciudad (ver Figura 5), se observa que los ocupantes empiezan a sentirse un poco incómodos (2) con un aumento en la aceleración vertical de 0,90g, aceleración que se encuentra cercana al límite de los 0,70g descrita por Kjemtrup (1990). En la Figura 6, se puede ver que los ocupantes empiezan a sentirse algo incómodos (2) para una velocidad de 26 [km/h], la cual está un 15% por debajo de la supuesta velocidad de diseño de 30 [km/h] para dichos resaltos.

Figura 5. Promedio Valores Comodidad vs Promedio Aceleración Vertical Máxima de los Ocupantes para el resalto L.T.R en el Vehículo de Ciudad



Fuente: Jané (2013)

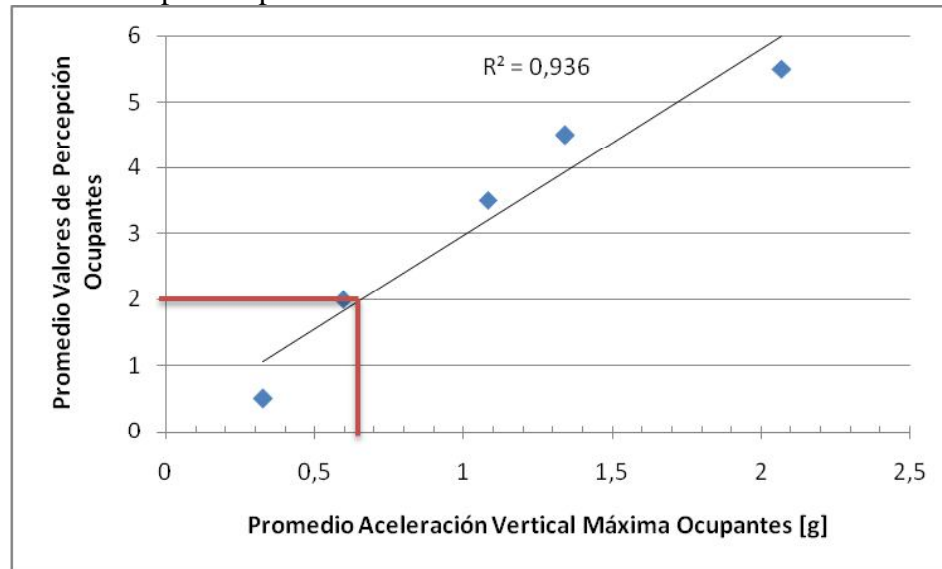
Figura 6. Promedio Valores Comodidad Ocupantes vs Promedio Velocidad Aproximación para el resalto L.T.R en el Vehículo de Ciudad



Fuente: Jané (2013)

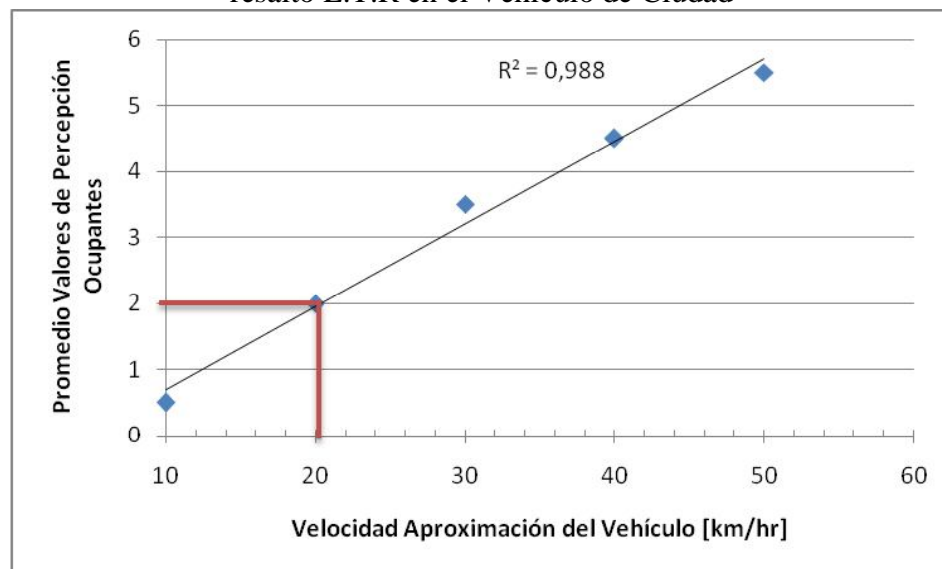
Las Figuras 7 y 8 muestran el promedio de los valores de notoriedad del resalto versus el promedio de la aceleración vertical máxima de los ocupantes para el caso de los lomos de toro redondeados (L.T.R) estudiados, haciendo uso del vehículo de ciudad. En la Figura 7 se observa que el resalto empieza a ser algo notorio (2) con una aceleración vertical de 0,67g. Con aceleraciones verticales superiores a 0,67g, el resalto empieza a ser mucho más notorio para los ocupantes. En la Figura 8, se destaca que para una velocidad de pasada de 20 [km/h], el resalto tipo L.T.R empieza a ser notorio.

Figura 7. Promedio Valores Notoriedad Resalto vs Promedio Aceleración Vertical Máxima de los Ocupantes para el resalto L.T.R en el Vehículo de Ciudad



Fuente: Jané (2013)

Figura 8. Promedio Valores Notoriedad Resalto vs Promedio Velocidad Aproximación para el resalto L.T.R en el Vehículo de Ciudad



Fuente: Jané (2013)

Para el caso de los L.T.P, haciendo uso del vehículo de ciudad, los ocupantes empezaban a sentirse algo incómodos (2) al experimentar una aceleración vertical máxima de aproximadamente 0,98g y sobrepasando el resalto a una velocidad cercana a los 35 [km/h]. En cambio, para los CJ, también utilizando el vehículo de ciudad, los ocupantes manifestaban sentirse algo incómodos con una aceleración vertical de aproximadamente 0,82g, la cual se producía al sobrepasar dichos resaltos a una velocidad de 22 [km/h], un 44% menor a la velocidad de pasada asumida de aproximadamente 50 [km/h], obtenida de CONASET (2010).

4 CONCLUSIONES

Las siguientes son las conclusiones más importantes deducidas de este estudio:

- El impacto en el vehículo 4x4 siempre es menor que el del vehículo de ciudad. Esto se debe a la diferencia en las suspensiones y la masa de los vehículos.
- La aceleración vertical máxima del chasis trasero y de los pasajeros ubicados en el asiento trasero, es mayor que la aceleración vertical máxima del conductor, independiente del automóvil. Esto se debe a que mientras más lejos se está del centro de masa del vehículo, mayores son las aceleraciones verticales.
- El impacto frontal percibido por los usuarios del vehículo de ciudad al circular sobre un resalto tipo CJ escogido para este estudio, era considerablemente mayor al percibido en los L.T.R y L.T.P.
- Los resaltos reductores de velocidad estudiados, no siguen a pie de letra los criterios de instalación, diseño y demarcación presentados en la norma D.S. N°228/96.
- Una mayor longitud en los resaltos, en este caso los lomos de toro planos (L.T.P), produce menores aceleraciones verticales tanto para el vehículo como sus ocupantes.
- Los resaltos fuera de norma, pueden resultar en mayores aceleraciones verticales sobre los ocupantes.

Mediante el uso de los resultados del presente estudio, es posible hacer algunas recomendaciones a futuro:

- Incorporar señal de VELOCIDAD SUGERIDA junto a la señal PG-8a, ante la proximidad del resalto.
- VELOCIDAD SUGERIDA no debería ser mayor a los 20 [km/h] para el caso de los lomos de toro redondeados y planos estudiados, para efectos de comodidad de los ocupantes del vehículo.
- Retirar los lomos de toro existentes que se encuentren fuera de norma y reemplazarlos por resaltos que se ciñan a los criterios dictados en la norma.
- Los conductores de los automóviles deberían estar al tanto del impacto producido en los pasajeros del asiento trasero (muchas veces niños y bebés, o bienes materiales en el maletero) para una velocidad “normal” (ni siquiera “excesiva”) de pasada sobre los lomos de toro.
- Se debería revisar el D.S. N°228/96 y crear un nuevo decreto mostrando claramente los criterios de instalación, diseño y demarcación/señalización para cada tipo de resalto reductor de velocidad. Estos cambios reducirían el riesgo para los ocupantes de los vehículos, mientras se mantiene el propósito de los resaltos reductores de velocidad.

5 REFERENCIAS

CONASET. **Reductores de velocidad: resaltos**. Ministerio de transporte y telecomunicaciones, ficha para la acción n°2, Santiago de Chile.

CONASET (1996). **Reglamenta instalación, diseño y señalización de resaltos reductores de velocidad**. Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, Santiago de Chile.

CONASET (2003). **Manual de Señalización de Tránsito**. Capítulo 2 Señales Verticales. Capítulo 3 Demarcaciones. Corporación Nacional de Seguridad de Tránsito. Santiago de Chile.

CONASET (2006). **Reductores de velocidad: cojines**. Ministerio de transporte y telecomunicaciones, ficha para la acción n°62, Santiago de Chile.

Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito (2010). **Guía de criterios para la aplicación, ubicación, diseño y señalización de medidas para el tráfico calmado**. Ministerio de transporte y telecomunicaciones.6-36.

Hodge, A. R. (1993). **Speed control humps – A trial at TRL**. Documentos de Trabajo. TRL project report 32. Transport Research Laboratory.

Jané, A. (2013). **Evaluación del Impacto Dinámico de los Resaltos Reductores de Velocidad en los Automóviles y sus Ocupantes**. Memoria de Ingeniería Civil, Universidad de los Andes, Santiago.

Kjemtrup, K. (1990). Speed reducing measures. **Conference on Speed Management in Urban Areas**, April 1990, Copenhagen.

Lecaros, M. (2006). Fracturas tóracolumbares por lomo de toro. **Revista Chilena Ortopedia y Traumatología**, 47, 169-174.

Sayer, I.A. (1999). **Traffic calming: Passenger and rider discomfort at sinusoidal, round-top and flat-top humps – a track trial at TRL**. Documentos de Trabajo. TRL project report 417. Transport Research Laboratory.

Watts, G. R. (1973). **Road humps for the control of vehicle speed**. Documentos de Trabajo. TRL Laboratory report 597. Transport and Road Research Laboratory.