



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Proyecto: LM-PI-AT-109-11

EVALUACIÓN DE SEGURIDAD VIAL

Control de velocidad mediante fotorradares en algunas rutas nacionales

Preparado por:

Unidad de Auditoría Técnica



San José, Costa Rica
Setiembre, 2011

1. Informe LM-PI-AT-109-11		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: EVALUACIÓN DE SEGURIDAD VIAL: Control de velocidad mediante fotorradars en algunas rutas nacionales		4. Fecha del Informe Setiembre, 2011
7. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
8. Notas complementarias		
9. Resumen <i>El exceso de velocidad es una de las principales causas asociadas con la ocurrencia de accidentes. Se ha demostrado que las medidas de control de velocidad son efectivas y eficientes para reducir el riesgo de que ocurran accidentes viales. En algunos países se ha utilizado de manera adecuada el sistema de fotorradars para controlar la velocidad, el cual presenta beneficios mayores a los costos incurridos en su implementación y operación. Con el correcto uso de los fotorradars se puede lograr un cambio de comportamiento en los usuarios. En el caso específico del tramo donde se colocó el fotorradar en la Carretera Florencio del Castillo (Ruta N°2), cerca de Terramall, se observan inconsistencias entre la velocidad de operación y los límites de velocidad establecidos, principalmente en el tramo de velocidad restringida de 60 km/h. Esto se debe a que el diseño de la carretera permite desarrollar velocidades mayores a las permitidas, de una manera que se percibe segura para el usuario. A pesar de que las condiciones del entorno sugieren que la velocidad debe reducirse, el hecho de colocar señales que restrinjan la velocidad y el uso de fotorradars no es suficiente para que los usuarios disminuyan la velocidad, dado que el usuario percibe una brecha muy amplia entre el límite de velocidad permitido y la velocidad real de operación. Una vez fuera del área de influencia del radar, los conductores nuevamente ajustarán su velocidad a las condiciones de la carretera. Por lo tanto, se deben implementar otras medidas para reducir efectivamente la velocidad de operación. El objetivo del sistema de fotorradars no debe ser hacer multas, sino ser un elemento generador de cambio en el comportamiento del usuario, que tenga como consecuencia una reducción en la velocidad y en el riesgo de ocurrencia de accidentes. El número de multas no es un indicador de una mejora en la seguridad vial.</i>		
10. Palabras clave: Control de velocidad, fotorradars	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas 48
13. Preparado por: Ing. Diana Jiménez Romero, MSc, MBA Auditora Técnica 	Ing. Javier Zamora Rojas, MScE Auditor Técnico 	Ing. Erick Acosta Hernández Auditor Técnico 
Fecha: 2 / Setiembre / 2011	Fecha: 2 / Setiembre / 2011	Fecha: 2 / Setiembre / 2011
14. Revisado por: Lic. Miguel Chacón Alvarado Asesor Legal Externo LanammeUCR 	Ing. Jenny Chaverri Jiménez, MScEng Coordinadora Unidad de Auditoría Técnica 	15. Aprobado por: Ing. Guillermo Loria Salazar, MSc, PhD Coordinador General PITRA 
Fecha: 2 / Setiembre / 2011	Fecha: 2 / Setiembre / 2011	Fecha: 2 / Setiembre / 2011



TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	4
1.1 POTESTADES	4
1.2 OBJETIVO DE LAS AUDITORÍAS TÉCNICAS	4
1.3 OBJETIVOS DEL INFORME	5
1.4 ALCANCE DEL INFORME	6
1.5 ANTECEDENTES	6
1.6 INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO	7
1.7 METODOLOGÍA	12
1.8 MARCO TEÓRICO	12
1.8.1 CONTROL DE LA VELOCIDAD	12
1.8.2 CONSISTENCIA DE VELOCIDADES	15
1.8.3 SEÑALIZACIÓN PREVENTIVA OPORTUNA PARA EL CONTROL DE VELOCIDAD	17
2. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE SEGURIDAD VIAL	20
2.1 VELOCIDAD DE OPERACIÓN VS. VELOCIDAD MÁXIMA PERMITIDA	20
2.2 CONDICIONES DEL ENTORNO Y DEL DISEÑO GEOMÉTRICO	26
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	28
3.1 SOBRE LA COHERENCIA DEL DISEÑO GEOMÉTRICO Y LA VELOCIDAD	28
3.2 SOBRE LAS BASES DE DATOS DE ACCIDENTES	29
4. CONCLUSIONES	30
5. RECOMENDACIONES	31
6. REFERENCIAS	34
7. ANEXOS	36
A. Datos de velocidad medidos con el fotorradar ubicado cerca de Terramall, Año 2010.	36
B. Datos de velocidad medidos con el fotorradar ubicado cerca de Terramall, Año 2011.	38
C. Datos de velocidad medidos por el LanammeUCR, 8 agosto 2011.	40
D. Medidas para la gestión de la velocidad.	47



INFORME DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA EVALUACIÓN DE SEGURIDAD VIAL

Control de velocidad mediante fotorradares en algunas rutas nacionales

1. INTRODUCCIÓN

1.1 POTESTADES

Las auditorías técnicas externas a proyectos en ejecución del sector vial se realizan de conformidad con las disposiciones del artículo 6 de la Ley 8114 de Simplificación y Eficiencia Tributarias y su reforma mediante la Ley 8603, como parte del Programa de Fiscalización de la Calidad del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR) de la Universidad de Costa Rica (UCR).

El proceso de auditoría igualmente se respalda en el pronunciamiento C-087-2002 del 4 de abril del 2002, de la Procuraduría General de la República, que indica:

“...la fiscalización que realiza la Universidad a través del Laboratorio es una fiscalización externa, que trasciende los contratos de mérito, y por ende, obras específicas, para abarcar la totalidad de la red nacional pavimentada (por ende, proyectos ya finiquitados) y que incluso podría considerarse “superior”, en el sentido en que debe fiscalizar también los laboratorios que realizan análisis de calidad, auditar proyectos en ejecución, entre otros aspectos, evaluar la capacidad estructural y determinar los problemas de vulnerabilidad y riesgos de esa red. Lo cual implica una fiscalización a quienes podrían estar fiscalizando proyectos concretos.”

1.2 OBJETIVO DE LAS AUDITORÍAS TÉCNICAS

El propósito de las auditorías técnicas que realiza el LanammeUCR en cumplimiento de las tareas asignadas en la Ley de Simplificación y Eficiencia Tributaria”, Ley N° 8114, es el de emitir informes que permitan a las autoridades del país, indicadas en dicha ley, conocer la situación técnica, administrativa y financiera de los proyectos viales durante todas o cada una de las etapas de ejecución: planificación, diseño y especificaciones; cartel y proceso

Informe LM-PI-AT-109-11	Fecha de emisión: 2 de setiembre de 2011	Página 4 de 48
-------------------------	--	----------------



licitatorio; ejecución y finiquito. Asimismo, la finalidad de estas auditorías consiste en que la Administración, de manera oportuna, tome decisiones correctivas y ejerza una adecuada comprobación, monitoreo y control de los contratos de obra, mediante un análisis comprensivo desde la fase de planificación hasta el finiquito del contrato.

Uno de los campos de trabajo lo componen las auditorías técnicas de seguridad vial, que ayudan a asegurar que los aspectos de seguridad vial estén considerados en todas las etapas de un proyecto vial.

Para el caso de carreteras en servicio, se realizan evaluaciones de seguridad vial de la vía en operación, de modo que se brinde a la Administración insumos para la mejora continua de la seguridad vial en las carreteras.

En las evaluaciones de seguridad vial que ejecuta el LanammeUCR, se comparan las prácticas que se realizan en Costa Rica con respecto a las mejores prácticas internacionales en el tema de seguridad vial y a la normativa existente, con el propósito de emitir recomendaciones para mejorar la Ingeniería de Transporte en Costa Rica en torno a la seguridad vial.

1.3 OBJETIVOS DEL INFORME

El objetivo general de este informe de evaluación de seguridad vial es establecer criterios generales para evaluar si en los sitios donde se va a hacer control de velocidad mediante fotorradars, los límites de velocidad son consistentes con la velocidad de operación en la vía y con sus características físicas, la composición y volumen del flujo vehicular, el uso del suelo y la tasa de accidentes.

A partir de la información suministrada por COSEVI, los objetivos específicos que se desarrollan en este estudio son:

- Comparar los límites de velocidad máxima permitida con los valores de velocidad de operación de los vehículos.

Informe LM-PI-AT-109-11	Fecha de emisión: 2 de setiembre de 2011	Página 5 de 48
-------------------------	--	----------------



- Identificar las condiciones del entorno que influyen en la velocidad de operación de los vehículos.
- Identificar la composición y volumen del flujo vehicular.
- Analizar la tasa de accidentes y las causas de los accidentes.

1.4 ALCANCE DEL INFORME

En el presente informe se estudia el caso particular del fotorradar ubicado cerca de Terramall, en la Carretera Florencio del Castillo, Ruta Nacional N°2. La metodología puede ser utilizada para estudiar los otros sitios donde se ubicaron los fotorradares.

1.5 ANTECEDENTES

El pasado 18 de julio del 2011 se emitió el informe de Asesoría Técnica LM-PT-036-2011, cuyo objetivo era brindar elementos de juicio que permitan a la Administración mejorar los criterios técnicos utilizados en la implementación de los fotorradares para el control de velocidad en carreteras, coadyuvando en la correcta inversión de recursos públicos destinados a este fin.

A solicitud del Consejo de Seguridad Vial (COSEVI), se realizaron dos visitas técnicas a los sitios donde están ubicadas las cámaras de control de velocidad los días 19 y 29 de julio 2011. En dichas visitas participó personal del COSEVI, de la Dirección General del Ingeniería de Tránsito (DGIT), de la empresa encargada de la administración del sistema de fotorradares y del LanammeUCR.

Mediante Oficio DE-2011-1777 de fecha 26 de julio 2011, la Directora Ejecutiva del COSEVI solicita que el LanammeUCR realice un estudio técnico para la evaluación de seguridad vial de los sitios donde se colocaron las cámaras de control de velocidad en la Ruta N°1, Ruta N°2 y Ruta N°39. Los sitios donde se colocaron las cámaras de control de velocidad son los siguientes:

- Carretera Florencio del Castillo, sitio cercano a Terramall
- Carretera Florencio del Castillo, Barrio la Lima de Cartago

Informe LM-PI-AT-109-11	Fecha de emisión: 2 de setiembre de 2011	Página 6 de 48
-------------------------	--	----------------



- Carretera General Cañas, sitio cercano Hotel Corobicí
- Carretera General Cañas, sitio cercano Cervecería CR
- Circunvalación, cercanía Rotonda Garantías Sociales

1.6 INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

En esta sección se presentan datos de Tránsito Promedio Diario (TPD) en todos tramos donde se colocaron las cámaras de control de velocidad, de modo que se tenga la información disponible para cuando se estudie cada uno de los sitios.

En la Tabla 1 se muestran los datos de TPD, mientras que la descripción de cada tramo se detalla en la Tabla 2. El dato de TPD del tramo de estudio corresponde a la Estación permanente 10 (EP 10).

Tabla 1. Tránsito Promedio Diario (Año 2006).

Ruta	Estación	Sección	TPD	Pasaj.	C. Liv.	Buses	2 Ejes	3 Ejes	5 Ejes	% Liv.	% Pes.
1	101	19002	80.023	77,67	13,87	5,19	2,84	0,22	0,21	91,54	8,46
1	15	20000	79.942	67,84	16,97	4,38	6,65	1,28	2,88	84,81	15,19
2	EP 10	30600	40.951	66,34	16,37	3,39	7,87	1,87	4,16	82,71	17,29
2	165	30101	37.098	60,9	22,7	3,06	8,22	2,18	2,94	83,6	16,4
39	209	19101	59.465	79,32	14,04	0,52	4,49	0,76	0,87	93,36	6,64

Fuente: Dirección de Planificación Sectorial, Unidad Logística.

Nota: se incluyen los datos de TPDA para el año 2006, debido a que corresponde al período para el que existe mayor información.

Tabla 2. Descripción del tramo correspondiente a cada estación de conteo.

Ruta	Estación	Ubicación
1	101	Sabana Este(R.2)(R.27)(C.42)-La Uruca (Ruta 3)(Hotel Irazú)
1	15	Lte. prov. Heredia/Alajuela (Río Segundo)-Radial Alajuela (Ruta 153)
2	EP 10	Lte. prov. San José/Cartago(0+100 antes Río Chaguíte)-San Rafael (paso sup. Ruta 251)
2	165	Taras (Ruta 219)-La Lima(Ruta 10)
39	209	La Y Griega (paso superior Ruta 209)-Zapote (Ruta 215)

Fuente: Dirección de Planificación Sectorial, Unidad Logística.

Informe LM-PI-AT-109-11	Fecha de emisión: 2 de setiembre de 2011	Página 7 de 48
-------------------------	--	----------------



De acuerdo con los datos de TPD, los flujos vehiculares en los tramos donde se colocaron los fotorradars son relativamente altos, pues se trata de las carreteras primarias principales de la red vial nacional. El tránsito de vehículos pesados es significativo, particularmente en el caso de los tramos de la Ruta Nacional N° 2 y en el tramo de la Ruta Nacional N° 1 (entre Río Segundo y la Radial Alajuela).

Respecto a los límites de velocidad, en la Tabla 3 y Tabla 4 se presenta un inventario de las señales de velocidad máxima y velocidad restringida en la Ruta N° 1 y la Ruta N° 2, con las coordenadas correspondientes.

Tabla 3. Inventario de señales reglamentarias de velocidad máxima y velocidad restringida, Ruta Nacional N°1. Sentido San José-Alajuela.

Punto	Velocidad	Descripción	Longitud	Latitud
1	40 km/h	Velocidad máxima	489237,4619	1098535,4684
2	60 km/h	Velocidad máxima	489233,2970	1098688,7928
3	60 km/h	Velocidad restringida	488499,3143	1099190,0331
4	90 90 70 km/h	Velocidad máxima	487315,3951	1100561,7267
	(demarcado en el pavimento)			
6	Fin 60 km/h	Fin Velocidad restringida	484789,3290	1102068,3568
7	90 km/h	Velocidad máxima	484696,9156	1102118,7373
8	60 km/h	Velocidad restringida	482902,1022	1102931,1513
9	Fin 60 km/h	Fin Velocidad restringida	482031,6923	1103821,2074
10	90 km/h	Velocidad máxima	482003,8894	1103897,0187
11	60 km/h	Velocidad restringida	481336,8607	1105304,2044
12	60 km/h	Velocidad restringida	480244,2149	1105683,7784
13	60 km/h	Velocidad restringida	479208,6281	1105449,7701

Fuente: Creación propia. LanammeUCR.

En la Figura 1 se presenta la ubicación de las señales de velocidad máxima y velocidad restringida de la Ruta Nacional N°1, Carretera General Cañas.



Figura 1. Ubicación de las señales de reglamentación de velocidad. Ruta N° 1.

Fuente: Creación propia. LanammeUCR.



Tabla 4. Inventario de señales reglamentarias de velocidad máxima y velocidad restringida, Ruta Nacional N°2. Sentido Cartago-San José.

Punto	GPS	Velocidad	Descripción	Latitud	Longitud
1	358	Fin 40 km/h	Fin Velocidad restringida	9,871166667	-83,9445
2	359	80 km/h	Velocidad máxima	9,872366667	-83,9442
3	360	Fin 60 km/h	Fin Velocidad restringida	9,88485	-83,93556667
4	361	VRA	Velocidad restringida adelante	9,891	-83,93901667
5	362	60 km/h	Velocidad restringida	9,891416667	-83,94035
6	363	60 km/h	Velocidad restringida	9,896383333	-83,94353333
7	364	Fin 60 km/h	Fin Velocidad restringida	9,905583333	-83,97416667
8	365	90 km/h	Velocidad máxima	9,905316667	-83,97558333
9	366	VRA	Velocidad restringida adelante	9,904	-83,98225
10	367	VRA	Velocidad restringida adelante	9,901983333	-83,99055
11	368	60 km/h	Velocidad restringida	9,901616667	-83,99213333
12	369	Fotorradar		9,900233333	-83,99856667
13	370	Fin 60 km/h	Fin Velocidad restringida	9,901416667	-84,00563333
14	371	90 km/h	Velocidad máxima	9,90195	-84,00665
15	372	VRA	Velocidad restringida adelante	9,906183333	-84,01236667
16	373	60 km/h	Velocidad restringida	9,9071	-84,01358333
17	374	60 km/h	Velocidad restringida	9,911266667	-84,02076667
18	375	VRA	Velocidad restringida adelante	9,9122	-84,03161667

Fuente: Creación propia. LanammeUCR.

En la Figura 2 se presenta la ubicación de las señales de velocidad máxima y velocidad restringida de la Ruta Nacional N° 2, Carretera Florencio del Castillo.



Figura 2. Ubicación de las señales de reglamentación de velocidad. Ruta N° 2.

Fuente: Creación propia. LanammeUCR.



1.7 METODOLOGÍA

Se visitó el sitio donde está colocado el fotorradar, con el fin de revisar las características del entorno que podrían afectar la velocidad de operación de los vehículos en el tramo, así como el uso del suelo. Se hizo un inventario de las señales colocadas y se identificaron los tramos donde la velocidad es restringida.

Se compararon los valores de velocidad de operación que suministró el COSEVI, con los límites de velocidad establecidos mediante señalamiento horizontal y vertical.

Se realizaron mediciones de velocidad de operación de una muestra de 600 vehículos en el punto donde está la cámara, también se hicieron mediciones en dos sitios ubicados antes de la cámara y en un sitio posterior, para obtener un perfil de velocidad.

Se revisaron las estadísticas de accidentes de tránsito facilitados por COSEVI para los tramos cercanos al sitio donde está ubicado el fotorradar. La información facilitada por COSEVI corresponde a la cantidad de accidentes totales que han ocurrido en el tramo, pero no permite determinar la causa de los accidentes.

1.8 MARCO TEÓRICO

1.8.1 CONTROL DE LA VELOCIDAD

Tal como se había indicado en el informe de Asesoría Técnica LM-PT-036-2011 “Control de velocidades por medio de fotorradares”, emitido en julio del 2011, el exceso de velocidad es una de las principales causas asociadas con la ocurrencia de accidentes; con el aumento de velocidad, se incrementa la distancia de frenado, es decir, desde el momento en que el conductor percibe el obstáculo hasta que el vehículo se detiene, además, disminuyen las posibilidades de recuperación del control del vehículo y de maniobras evasivas ante cualquier riesgo y se estrecha el cono de visión del conductor (PIARC, 2003). Estas condiciones impiden una reacción oportuna ante la ocurrencia de algún incidente, lo que se traduce en un mayor riesgo de accidente.

Las consecuencias de un accidente dependen de la velocidad a la que se transite cuando sucede el siniestro, así por ejemplo, si un atropello se produce a una velocidad de 65 km/h,

Informe LM-PI-AT-109-11	Fecha de emisión: 2 de setiembre de 2011	Página 12 de 48
-------------------------	--	-----------------

el peatón tiene una probabilidad de morir de un 85% y un 15% de sufrir lesiones graves (MAPFRE 2005).

Un estudio de seguridad vial realizado por Rosén y Sander (2009), concluyó porcentajes de probabilidad de fallecer en un accidente de tránsito en función de la velocidad a la cual ocurre el atropello. Tal como se indica en la Figura 3 hay una probabilidad mayor de 80% de que ocurra una fatalidad si el atropello se produce a una velocidad de 60 km/h, que corresponde a la velocidad del percentil 85 (V85).

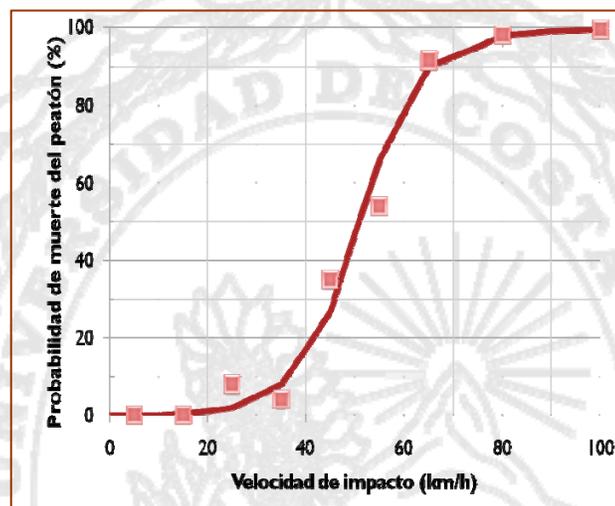


Figura 3: Probabilidad de muerte en función de la velocidad en un atropello.

Fuente: Riesgo de muerte de peatones en función de la velocidad del atropello (Rosén et al, 2009).

Para el caso de colisiones vehiculares, existe un 50% de probabilidad de muerte para los ocupantes de un vehículo que no utilicen cinturón de seguridad a una velocidad de 50 km/h, mientras que para ocupantes con cinturón, se tiene esa misma probabilidad de muerte a 65 km/h (PIARC, 2003).

El Manual de Seguridad Vial de la Asociación Mundial de las Carreteras (PIARC, 2003) y el Manual de Dispositivos Uniformes para el Control de Tránsito (SIECA, 2000), indican que la velocidad modifica el cono de atención del conductor. Como se ilustra en la Figura 4, a mayor velocidad se da un estrechamiento del cono de visión y los eventos que ocurren a los lados son menos percibidos; por ejemplo el paso de un peatón. Por lo que el uso de medidas

de tráfico calmado para incentivar menores velocidades, se constituye en un aumento del rango de visión de los conductores. Esto le permite reaccionar de forma más oportuna ante la ocurrencia de eventos, identificar de forma más efectiva el señalamiento ubicado a sus lados y además le ayuda a tener conciencia de los peatones, ciclistas que viajan por la orilla de la carretera.

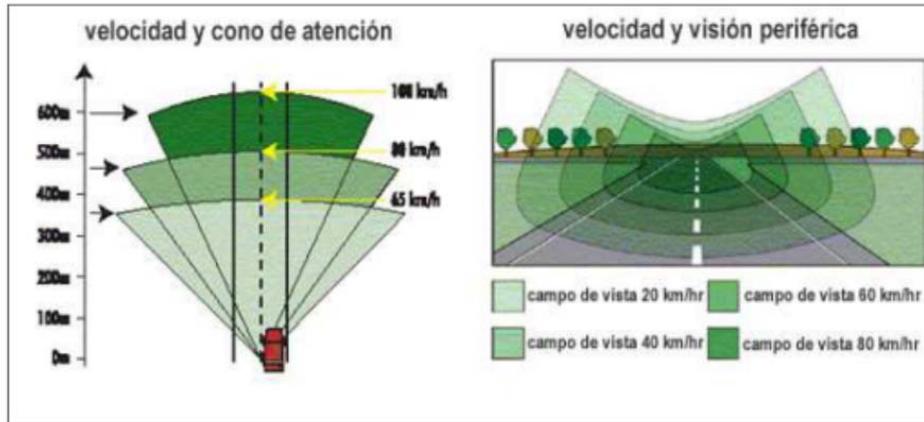


Figura 4. Relación entre la velocidad y el cono de atención del conductor.

Fuente: Adaptada del Manual de Seguridad Vial (PIARC, 2003)

Se ha demostrado que el control de la velocidad es una medida efectiva y eficiente que reduce el número y gravedad de los accidentes. Se estima que la reducción de velocidad en 1,6 km/h puede reducir en promedio un 5% los accidentes, mientras que un aumento de la misma en 1,6 km/h puede aumentar accidentes en un 19 % en promedio (CONASET, 2008).

Según evidencia empírica, en varios países se ha determinado que el uso de tecnologías de control de velocidad es una medida adecuada para reducir los accidentes de tránsito. El caso de los fotorradars (cámaras de control de velocidad) es el que ha sido de mayor difusión y ha sido efectivo y eficiente para lograr un cambio de comportamiento en los usuarios, pues se ha logrado reducir la velocidad de circulación y como consecuencia, se ha disminuido el número de víctimas de accidentes.

El sistema de fotorradars presenta beneficios mayores a los costos incurridos en su implementación y operación. En Nueva Zelanda se ha encontrado que existe una relación



costo-beneficio 1:8; mientras que para Inglaterra la relación es de 1:2,7 (Rizzi, 2009). De acuerdo con los datos indicados de relaciones costo-beneficio, se justifica el uso de este tipo de tecnología para disminuir la velocidad.

Es importante que ante la opinión pública, el uso de fotorradares se plantee como una herramienta que va en beneficio de la sociedad. Las medidas de control de velocidad deben acompañarse de esfuerzos en la educación vial y en campañas de información y concientización, dado que lo que se busca es que el usuario tenga un cambio de comportamiento que mejore la seguridad vial.

1.8.2 CONSISTENCIA DE VELOCIDADES

Desde un punto de vista teórico o desde una perspectiva del diseño geométrico, la velocidad de diseño de una carretera es la máxima velocidad que puede ser mantenida en una sección de la vía, con condiciones de seguridad. Esta velocidad de diseño por lo general no contempla aspectos del entorno. La velocidad de circulación en las carreteras se puede controlar por medio de la fijación de límites de velocidad que dependen del tipo de vía (autopista, rutas rurales, calles urbanas, etc.) y pueden ser ajustados de acuerdo a las características particulares de cada ruta. El objetivo de utilizar límites de velocidad es lograr un equilibrio entre la seguridad vial y la movilidad, para una carretera o un tramo específico de ella (SIECA, 2001).

Los límites de velocidad deben ser consistentes con la velocidad que espera el conductor promedio. Si las características de una vía son favorables en cuanto a topografía y visibilidad, los conductores en general transitarán con velocidades altas. El establecimiento de regulaciones de velocidad no será efectivo en estos casos y más bien acarrearía riesgos por la creación de diferencias en las velocidades de los diferentes usuarios de la carretera. Los límites de velocidad mejoran la seguridad de la vía al tratar reducir la dispersión de las velocidades y por ende, los conflictos potenciales entre los diferentes usuarios (LanammeUCR, 2005).

Es fundamental que los límites de velocidad permitidos se establezcan conforme al diseño geométrico, con las características del flujo de tránsito y el entorno de la carretera. Los estudios indican que es muy posible que los conductores de vehículos ajusten la velocidad

Informe LM-PI-AT-109-11	Fecha de emisión: 2 de setiembre de 2011	Página 15 de 48
-------------------------	--	-----------------

con la que conducen a sus necesidades de seguridad y movilidad, procesando la información que les es transmitida en la carretera y sus alrededores (PIARC, 2003).

Los factores que determinan la elección de la velocidad son la geometría de la carretera, las condiciones de tráfico y el entorno de la vía (Echaveguren y Sáez, 2010). Las características de la carretera determinan lo que es físicamente posible para un vehículo e influyen en la percepción del conductor. Si el trazado de una carretera tiene un adecuado alineamiento horizontal y vertical, con un amplio espacio visual, los conductores tenderán a viajar de conformidad con sus deseos de movilidad, deseos que típicamente se asocian con velocidades mayores a las reglamentadas para las áreas urbanas.

Cuando los conductores perciben que las condiciones del camino son aptas para desarrollar altas velocidades y adicionalmente no discernen una causa justificada que los obligue a lo contrario (lluvias torrenciales, exceso de tráfico, semovientes en la vía, etc) tenderán a transgredir cualquier límite de velocidad. Un estudio realizado por Mustyn y Sheppard (1980) estableció que más del 75% de los conductores afirmaban viajar a las velocidades que el tráfico o las condiciones de la calle le permitía, sin tener en cuenta la velocidad límite indicada.

Es necesario que exista una armonía entre la función de la carretera, las condiciones de tráfico, la geometría y el uso del suelo (ver Figura 5).

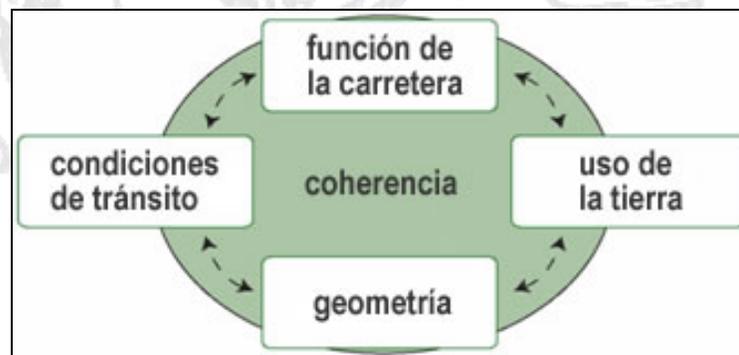


Figura 5. Factores a considerar en la planificación de una carretera.

Fuente: Manual de Seguridad Vial de la Asociación Mundial de las Carreteras (PIARC, 2003).



El límite de velocidad que se establezca en una carretera debe ser razonable y debe estar de acuerdo con la función de la carretera, las condiciones de tráfico, la geometría y el uso del suelo; de lo contrario, resulta poco creíble y más bien sirve para aumentar el número de infractores (Kraemer, et al., 2003).

En las intersecciones, las velocidades de diseño deben ser las velocidades promedio de aproximación de los vehículos a la intersección. También puede usarse este criterio para algunas rampas de intercambios, en intersecciones y donde se deban hacer maniobras involucrando algún conflicto con peatones o ciclistas (AASHTO, 2004).

Revisar los límites de velocidad y hacerlos consistentes con el uso de suelo de la zona y las características de la carretera, puede ayudar a reducir de un 5% a un 30% los accidentes en general y de un 10% a un 25%, los accidentes por salida de vía (TAC, 2004).

Una herramienta útil para verificar la consistencia de diseños geométricos es hacer un perfil de velocidad. Para elaborarlo es necesario contar con modelos que describan adecuadamente relaciones entre la velocidad y la geometría y cambios de velocidad (Echaveguren, et al., 2010)

1.8.3 SEÑALIZACIÓN PREVENTIVA OPORTUNA PARA EL CONTROL DE VELOCIDAD

Las señales que se utilizan para definir límites de velocidad son una combinación de las del tipo reglamentarias (para los límites de velocidad), de las de precaución (advirtiendo cualquier riesgo) y también demarcación, mediante la cual se refuerza la información sobre los límites de velocidad. Según la Federal Highway Administration (2003), las señales de advertencia llaman la atención sobre condiciones inesperadas o adyacentes a la carretera que pueden o no ser percibidas por los usuarios y que podrían necesitar de una reducción de velocidad, por motivos de seguridad y eficiencia del flujo de tránsito. Cuando las situaciones de riesgo son temporales, las señales que las advierten deben ser removidas o cubiertas mientras las actividad no se realice (FHWA, 2003), por ejemplo trabajos en la vía.

Las señales de advertencia no se deben colocar muy lejos de la condición anunciada en ellas puesto que el conductor puede olvidar la advertencia, especialmente cuando existen otras distracciones, como es el caso de las áreas urbanas o intersecciones. El



espaciamiento mínimo entre señales con diferentes mensajes debe basarse en el tiempo total de reacción, para que el conductor comprenda y puede entender la segunda señal que lee. La efectividad de la colocación debe ser evaluada tanto en condiciones de día como de la noche (FHWA, 2003).

El establecimiento de secciones con velocidad restringida en una vía se debe realizar mediante una adecuada señalización que informe al usuario, con suficiente tiempo de antelación, que está ingresando a un tramo de la carretera con diferente límite de velocidad. El tiempo total necesitado para percibir y completar una reacción es la suma de los tiempos necesarios para Percibir, Identificar, Decidir y Ejecutar. En el caso de las señales de advertencia es aproximadamente de seis segundos o más, pues puede variar (FHWA, 2003).

En la Tabla 5 se presenta una adaptación del Manual on Uniform Traffic Control Devices for Highways and Streets (FHWA, 2003). En este se definen recomendaciones para la distancia de colocación de las señales de advertencia. Allí se cita, por ejemplo, que para reducir la velocidad de 100km/h a 60km/h se debe colocar la señal al menos 70m antes del inicio de la zona restringida.

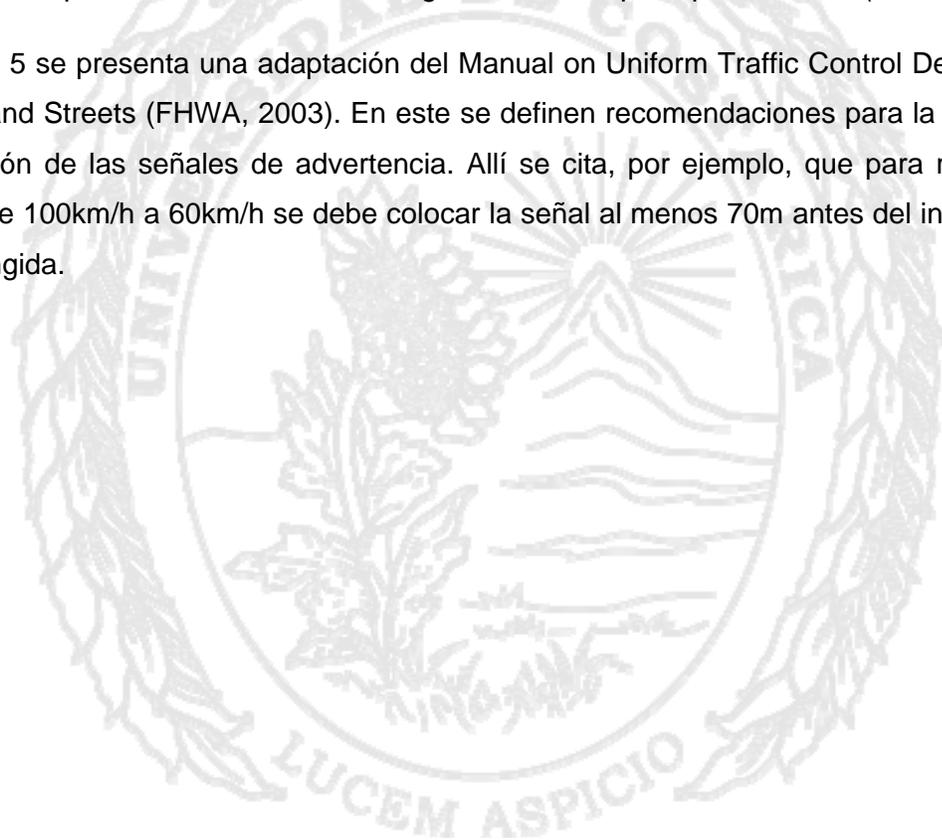


Tabla 5. Lineamientos para colocación de señales de advertencia.

Veloc. permitida o percentil 85 de la vía (km/h)	Cond. A: Reduc. de veloc. y cambio de carril en tráfico alto ²	Distancia de ubicación recomendada ¹											
		Condición B: Deceleración a la velocidad restringida (km/h) ⁴											
		0 ³	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
30	60 m	N/A ⁵	N/A ⁵	N/A ⁵	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	100 m	N/A ⁵	N/A ⁵	N/A ⁵	N/A ⁵	-	-	-	-	-	-	-	-
50	150 m	N/A ⁵	N/A ⁵	N/A ⁵	N/A ⁵	N/A ⁵	-	-	-	-	-	-	-
60	180 m	30 m	N/A ⁵			-	-	-	-				
70	220 m	50 m	40 m	30 m	N/A ⁵	N/A ⁵	N/A ⁵	N/A ⁵		-	-	-	-
80	260 m	80 m	60 m	55 m	50 m	40 m	30 m	N/A ⁵	N/A ⁵	-	-	-	-
90	310 m	110 m	90 m	80 m	70 m	60 m	40 m	N/A ⁵	N/A ⁵	N/A ⁵	-	-	-
100	350 m	130 m	120 m	115 m	110 m	100 m	90 m	70 m	60 m	40 m	N/A ⁵	-	-
110	380 m	170 m	160 m	150 m	140 m	130 m	120 m	110 m	90 m	70 m	50 m	N/A ⁵	-
120	420 m	200 m	190 m	180 m	180 m	170 m	160 m	140 m	130 m	110 m	90 m	60 m	40 m
130	460 m	230 m	230 m	230 m	220 m	210 m	200 m	180 m	170 m	150 m	120 m	100 m	70 m

Fuente: Manual de Dispositivos Uniformes de Control de Tránsito en Autopistas y Carreteras (FHWA, 2003).^{Ver Notas}

Las velocidades mostradas en las señales de límites de velocidad deben ser múltiplos de 10 km/h ó 5 km/h. Además se deben revisar los límites periódicamente, pues cambios en la vía pueden hacer la señalización existente poco efectiva (FHWA, 2003).

Notas

1Las distancias están ajustadas para una distancia de visibilidad de 50m para la condición A. Las distancias para la condición B han sido ajustadas para una distancia de legibilidad de 75m, la cual es apropiada para el alineamiento de advertencia.

2Las condiciones típicas son lugares donde el usuario de la carretera debe usar tiempo extra para ajustar la velocidad y cambiar de carril en tráfico pesado debido a una situación de conducción compleja. Las señales típicas son las de combinación de carril y de finalización de carril externo. Las distancias son determinadas dando un tiempo total de reacción de 14s a 14,5s por vehículo menos la distancia de legibilidad de 50m para la señal apropiada (Figura 3-3 AASHTO Policy, 2001).

3La condición típica es la advertencia de una situación potencial de alto. La señal típica es la de “Alto”, “Ceda” e “Intersección adelante”. Las distancias son basadas en la Figura 3-1 AASHTO Policy (2001), dando un tiempo total de reacción de 3,4s menos la distancia de legibilidad de 50m. 4La condición típica es cuando el conductor debe reducir la velocidad para maniobrar a través de la condición advertida. Señales típicas: Curva, Giro en U. La distancia es determinada dando 2,5s de tiempo total de reacción total, una tasa de deceleración de 3m/s², menos la distancia de legibilidad de 75 m.

5No distancias sugeridas para estas velocidades

Informe LM-PI-AT-109-11	Fecha de emisión: 2 de setiembre de 2011	Página 19 de 48
-------------------------	--	-----------------

2. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE SEGURIDAD VIAL

En esta sección se presentan los resultados obtenidos de la evaluación de seguridad vial para el caso específico del fotorradar ubicado cerca de Terramall, Ruta Nacional N°2, sentido de circulación Cartago-San José. Esta metodología se puede aplicar para el análisis de los otros sitios donde se coloquen fotorradares.

2.1 VELOCIDAD DE OPERACIÓN VS. VELOCIDAD MÁXIMA PERMITIDA

El COSEVI facilitó algunos valores de velocidad medidos por el fotorradar ubicado cerca de Terramall. Los datos están agregados en rangos de velocidad para los meses de agosto, setiembre, octubre, noviembre y diciembre del 2010 (en el Anexo A se muestran los valores).

En la Figura 6 se observa que la mayoría de los vehículos transitan entre 60 km/h y 90 km/h. De acuerdo con los valores suministrados por COSEVI del año 2010, el valor promedio de velocidad en este tramo era de 75 km/h.

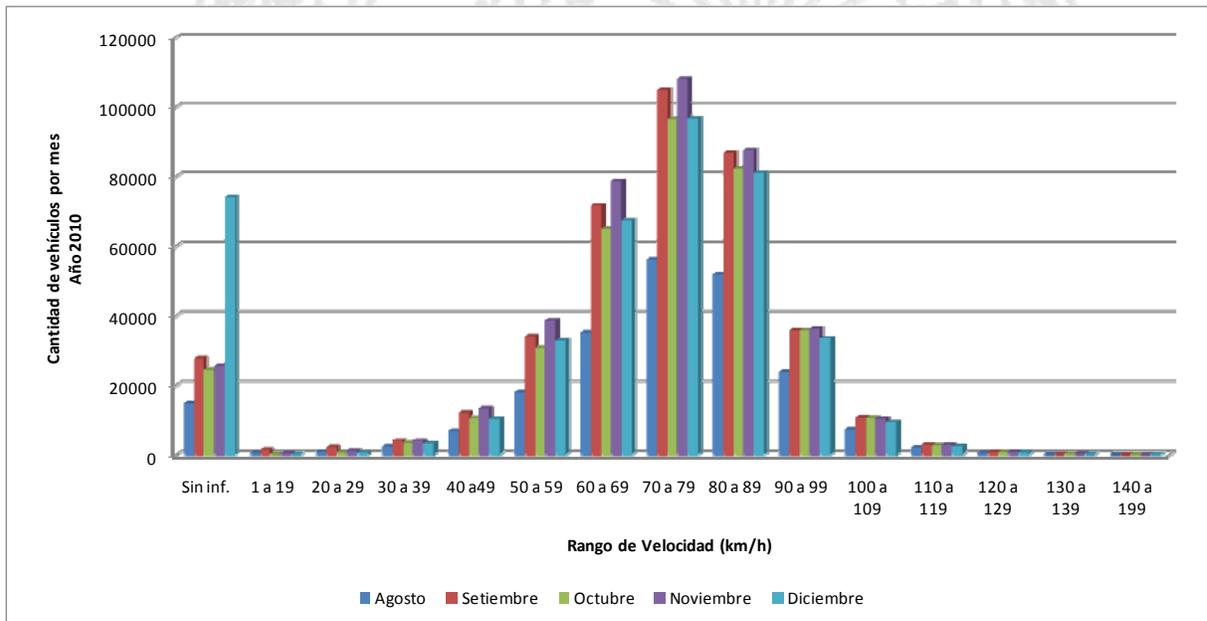


Figura 6. Distribución de velocidades medidas con el fotorradar ubicado cerca de Terramall, sentido Cartago-San José, Ruta Nacional N°2.

Fuente: Creación propia, a partir de datos suministrados por COSEVI.

En el Anexo B se muestran los valores de velocidad medidos por el fotorradar ubicado cerca de Terramall. Los datos están agregados en rangos de velocidad para los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio y julio del 2011.

En la Figura 7 se observa que la mayoría de los vehículos transitan entre 60 km/h y 90 km/h. De acuerdo con los valores suministrados por COSEVI del año 2011, el valor promedio de velocidad en este tramo varía entre 67 y 75 km/h.

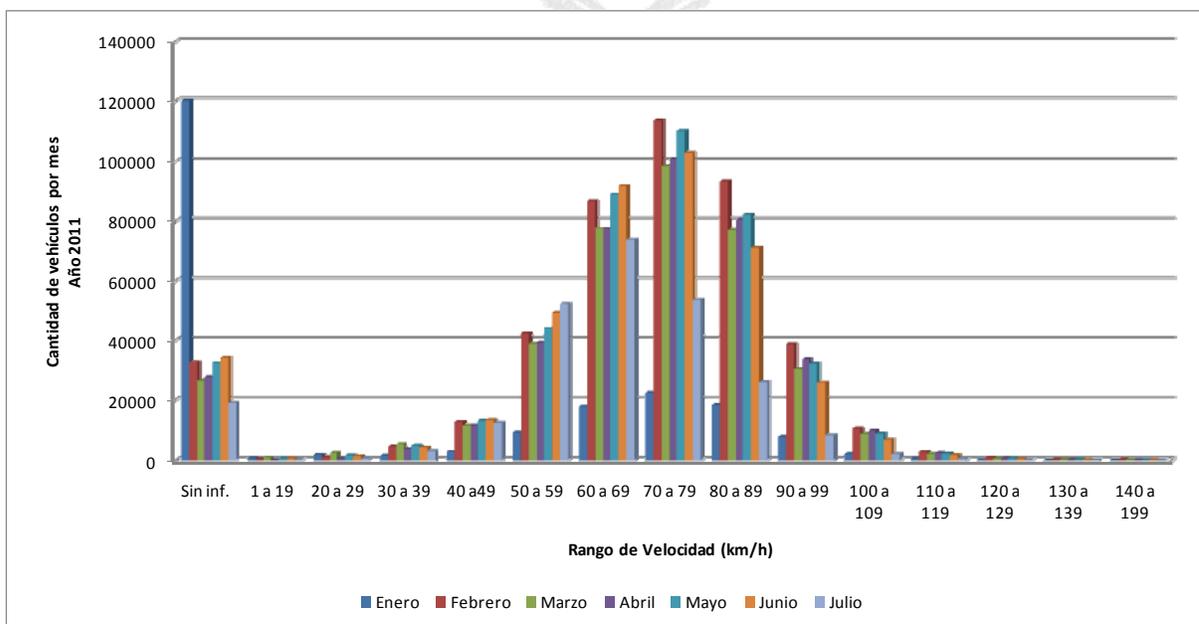


Figura 7. Distribución de velocidades medidas con el fotorradar ubicado cerca de Terramall, sentido Cartago-San José, Ruta Nacional N°2.

Fuente: Creación propia, a partir de datos suministrados por COSEVI.

El COSEVI facilitó información del valor promedio de velocidad, para distintas horas, en distintos días. La velocidad fue medida con el fotorradar ubicado cerca de Terramall, en la Figura 8, Figura 9, Figura 10 y Figura 11 se muestran los datos. En esas figuras se indica en color azul, el valor de velocidad restringida (60 km/h).

Se observa que en promedio, se transita a una velocidad mayor en horas de la madrugada; fuera de este período, la velocidad está entre 60 km/h y 80 km/h. Entre 7:00 AM y 8:00 AM, las velocidades de operación disminuyen debido a la gran cantidad de vehículos que transita en el sentido de circulación Cartago-San José.

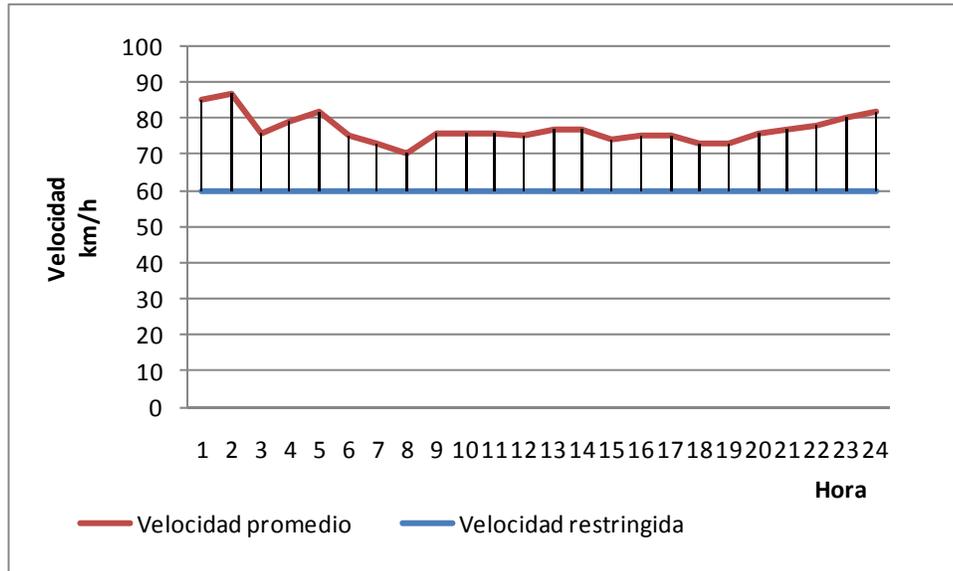


Figura 8. Distribución de velocidades medidas con el fotorradar ubicado cerca de Terramall, sentido Cartago-San José, Ruta Nacional N°2. Martes 1 febrero 2011.

Fuente: Creación propia, a partir de datos suministrados por COSEVI.

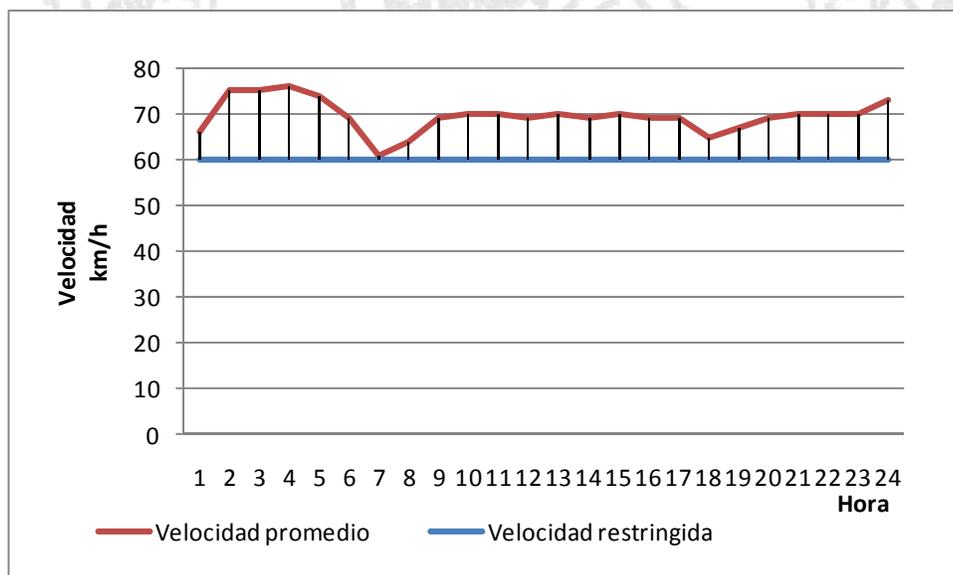


Figura 9. Distribución de velocidades medidas con el fotorradar ubicado cerca de Terramall, sentido Cartago-San José, Ruta Nacional N°2. Jueves 21 julio 2011.

Fuente: Creación propia, a partir de datos suministrados por COSEVI.

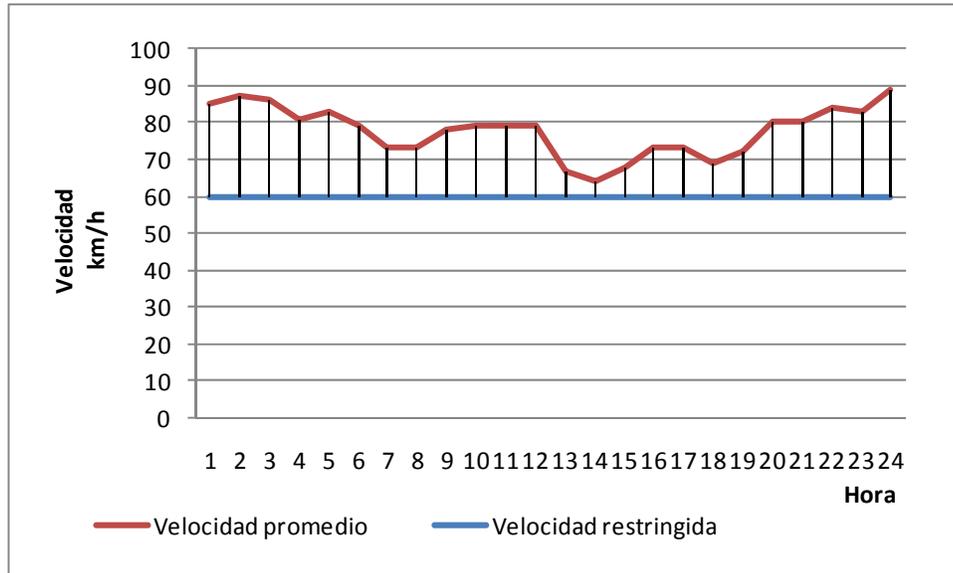


Figura 10. Distribución de velocidades medidas con el fotorradar ubicado cerca de Terramall, sentido Cartago-San José, Ruta Nacional N°2. Viernes 3 diciembre 2010.

Fuente: Creación propia, a partir de datos suministrados por COSEVI.

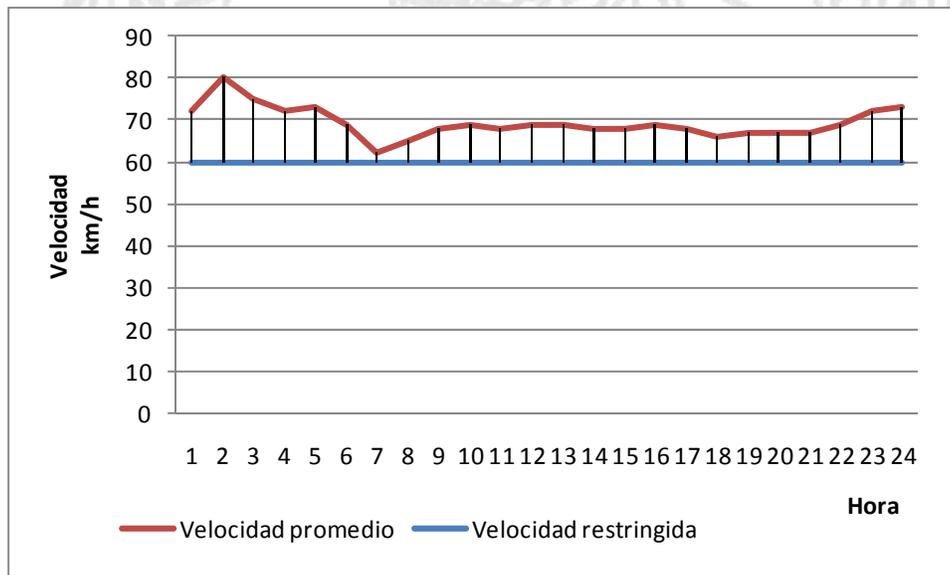


Figura 11. Distribución de velocidades medidas con el fotorradar ubicado cerca de Terramall, sentido Cartago-San José, Ruta Nacional N°2. Viernes 24 julio 2011.

Fuente: Creación propia, a partir de datos suministrados por COSEVI.

Los datos suministrados por COSEVI están agregados en rangos de velocidad, para distintas horas del día o para algunos meses. Sin embargo, es necesario tener datos desagregados para determinar el percentil 85 de la velocidad de operación. El percentil 85 de la velocidad de operación significa que sólo el 15% de los vehículos superan esa velocidad, este es el criterio que se utiliza internacionalmente para determinar la velocidad de operación (NCHRP Report 504, 2003).

Para determinar el comportamiento de los usuarios en el tramo cercano al fotorradar, la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR realizó mediciones de velocidad tanto en el sitio donde está ubicada la cámara, como en dos sitios ubicados antes de la cámara y en un sitio posterior, para obtener un perfil de velocidad (ver Figura 12).

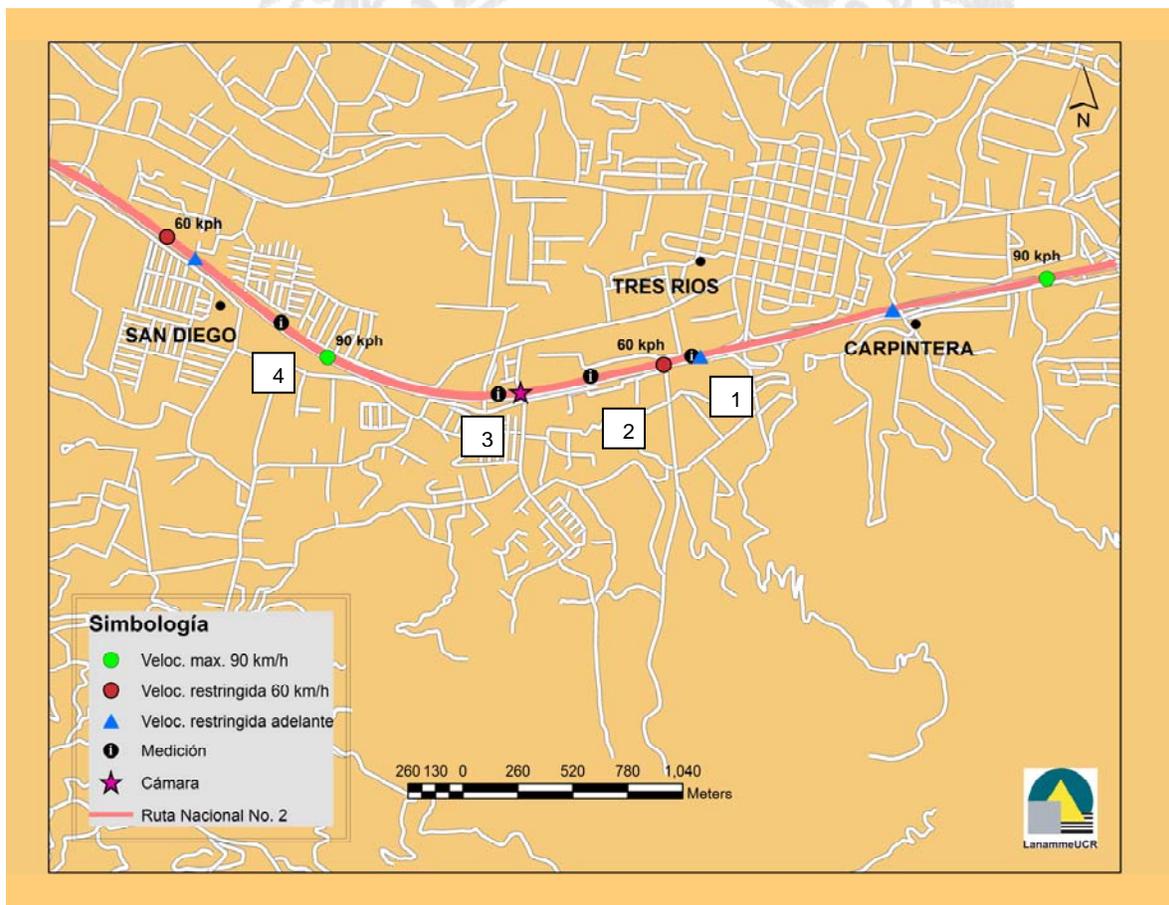


Figura 12. Ubicación del tramo de estudio, Ruta Nacional N°2.

Fuente: Creación propia. LanammeUCR.

En la Figura 12 se muestra además de la ubicación de los sitios donde se realizaron las mediciones de velocidad, los límites de velocidad que existen en el tramo.

Los sitios 1 y 2 se ubican antes del fotorradar. El sitio 3 está al lado de la cámara y el sitio 4 está después del fotorradar. En los sitios 1 y 4, la velocidad máxima permitida es de 90 km/h, mientras que en los puntos 2 y 3, la velocidad máxima permitida está restringida a 60 km/h.

En la Figura 13 se muestra el perfil de velocidad promedio y del percentil 85, realizado con base en los datos medidos por el LanammeUCR, en periodos fuera de la hora pico. Los datos se incluyen en el Anexo C.

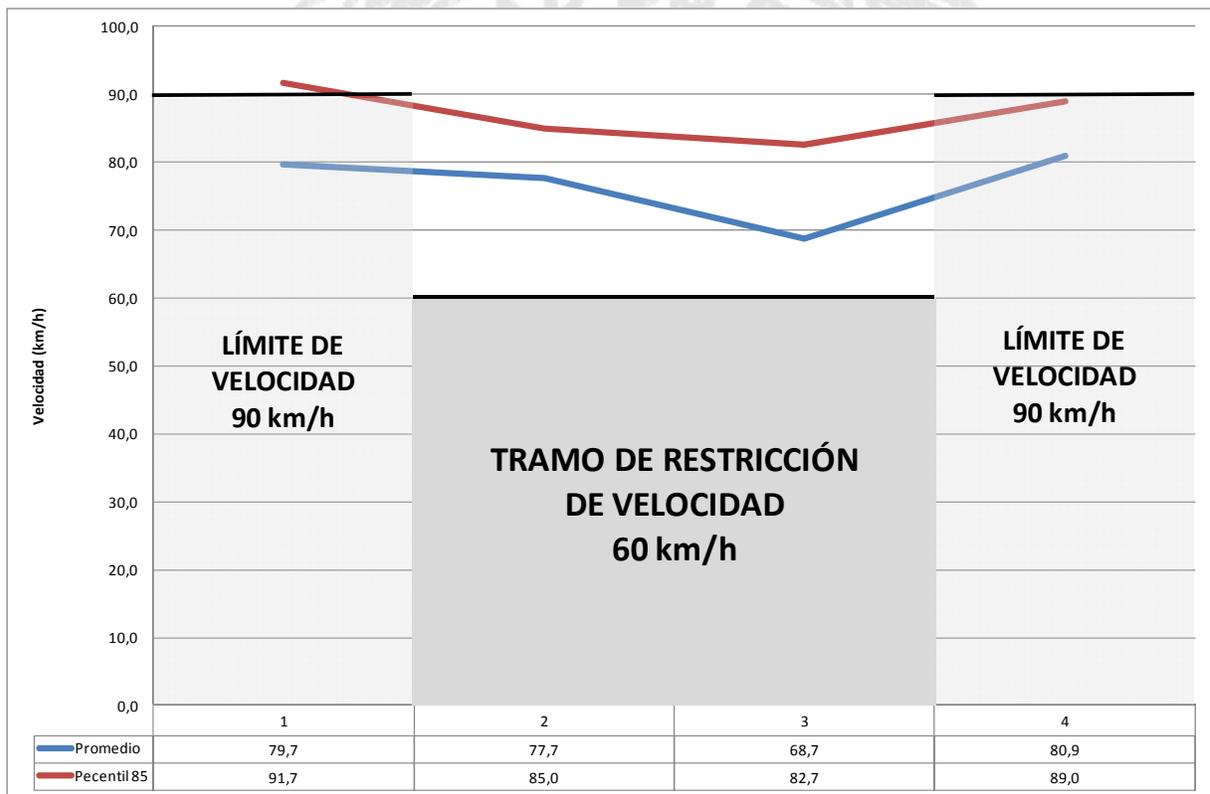


Figura 13. Perfil de velocidad en el tramo cercano al fotorradar ubicado cerca de Terramall, sentido Cartago-San José, Ruta Nacional N°2.

Fuente: Creación propia, a partir de datos medidos el 8 agosto 2011. LanammeUCR.

De acuerdo con los resultados de las mediciones realizadas por el LanammeUCR, los vehículos disminuyen la velocidad al pasar por el sitio donde está ubicado el fotorradar (ver análisis estadístico en el Anexo C). Sin embargo, la reducción de velocidad no es suficiente para cumplir con el valor de velocidad restringida de 60 km/h. En ese punto, la velocidad del percentil 85 de los vehículos es de 82,6 km/h.

A pesar de que en el sitio 2, la velocidad máxima también está restringida a 60 km/h, la velocidad del percentil 85 es de 85,0 km/h (según las mediciones de velocidad de operación realizadas por el LanammeUCR). Lo cual pone en evidencia que los vehículos no respetan el límite de velocidad en el tramo de velocidad restringida, pues la carretera permite desplazarse a mayor velocidad, de una forma que es considerada segura para el usuario. Es necesario revisar los límites de velocidad restringida, dado que no es conveniente un cambio de velocidad de más de 20 km/h en una distancia menor de 2 km.

2.2 CONDICIONES DEL ENTORNO Y DEL DISEÑO GEOMÉTRICO

La Carretera Florencio del Castillo, en el tramo en estudio, segrega la comunidad de San Diego de Tres Ríos (ver Figura 12). Constantemente se observan peatones cruzando la carretera, a pesar de que existe un paso peatonal a desnivel, tal como se ilustra en la Fotografía 1.



Fotografía 1. Peatón cruzando en el sitio donde se ubica el fotorradar.

El uso del suelo es mixto, entre residencial y comercial. En el tramo se ubican algunos accesos y salidas del Centro Comercial Terramall, además, existen paradas de buses al lado

de la calzada que no cuentan con bahía y por lo tanto, interfieren en el flujo libre de los vehículos en el carril derecho de circulación (ver Fotografía 2).



Fotografía 2. Interferencia de la parada de bus en la circulación de vehículos.

El tramo se ubica después de una pendiente descendente, lo que influye en que los vehículos desarrollen velocidades altas. Posee un tramo recto y luego una curva horizontal (en esta curva es donde se ubica el fotorradar).

La visibilidad en la curva se ve reducida por las columnas y las gradas del puente peatonal (ver Fotografía 3).



Fotografía 3. Las gradas del puente peatonal reducen la visibilidad en la curva.



3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la presente sección se analizan los resultados obtenidos de la evaluación de seguridad vial para el caso específico del fotorradar ubicado cerca de Terramall, Ruta Nacional N°2, sentido de circulación Cartago-San José.

3.1 SOBRE LA COHERENCIA DEL DISEÑO GEOMÉTRICO Y LA VELOCIDAD

A pesar de que existen señales de reglamentación que restringen la velocidad en el tramo donde se ubica el fotorradar, la velocidad de operación es mayor de acuerdo con las mediciones, irrespetándose el límite de velocidad establecido (ver Figura 13).

Es importante indicar que en el año 2003, en el informe de auditoría técnica de seguridad vial de la Carretera Florencio del Castillo, elaborado por el LanammeUCR, se había hecho la observación de la inconsistencia entre el límite de velocidad máxima establecido a lo largo de la carretera y la velocidad de operación segura que los usuarios perciben.

Si se mantienen las condiciones del entorno (uso del suelo, cambio de alineamiento horizontal, parada de bus sin bahía, visibilidad reducida por la columna del puente peatonal, cruce de peatones y otros obstáculos como postes en la medianera) se justificaría que se restrinja la velocidad de operación en el tramo.

No obstante, el diseño geométrico del tramo en estudio propicia que los vehículos desarrollen velocidades altas (mayores a los límites establecidos), pues el tramo se ubica después de una pendiente descendente.

De acuerdo con lo anterior, no es posible pretender que el usuario disminuya la velocidad al límite establecido mediante señales de velocidad restringida y uso de fotorradar, dado que éste percibe una brecha muy amplia entre el límite de velocidad permitido y la velocidad real de operación. Una vez fuera del área de influencia del radar, los conductores nuevamente ajustarán su velocidad a las condiciones de la carretera.



3.2 SOBRE LAS BASES DE DATOS DE ACCIDENTES

La información facilitada por COSEVI indica la cantidad de accidentes totales que han ocurrido en el tramo, pero no permite determinar la causa de los accidentes; de modo que con base en dicha información no se puede determinar si el exceso de velocidad influyó en que se produjera un accidente. Tal como se había indicado en el informe LM-PT-036-2011, uno de los principales criterios de decisión y evaluación para la ubicación de los fotorradares, es con base en la accidentalidad cuya causa esté asociada a la velocidad excesiva.





4. CONCLUSIONES

En el caso específico del tramo donde se colocó el fotorradar en la Carretera Florencio del Castillo (Ruta N°2), cerca de Terramall, se observan inconsistencias entre la velocidad de operación y los límites de velocidad establecidos, principalmente en el tramo de velocidad restringida de 60 km/h. Esto se debe a que el diseño de la carretera permite desarrollar velocidades mayores a las permitidas, de una manera que se percibe segura para el usuario.

A pesar de que las condiciones del entorno sugieren que la velocidad debe reducirse, el hecho de colocar señales que restrinjan la velocidad y el uso de fotorradares no es suficiente para que los usuarios disminuyan la velocidad. Se deben implementar otras medidas para reducir efectivamente la velocidad de operación y la comprensión de estos límites por parte de los usuarios.

Hasta el momento no se estén efectuando multas por exceso de velocidad utilizando los fotorradares, por lo tanto, no se puede determinar aún el impacto real que tendrá esta herramienta en el control de velocidad. Es de esperar que al aplicarse multas, los usuarios sí respeten los límites establecidos en el área de influencia del fotorradar, pero los conductores nuevamente ajustarán su velocidad a las condiciones de la carretera una vez fuera del área de influencia del radar.

El objetivo del sistema de fotorradares no debe ser hacer multas, sino ser un elemento generador de cambio en el comportamiento del usuario, que tenga como consecuencia una reducción en la velocidad y en el riesgo de ocurrencia de accidentes. El número de multas no es un indicador de la mejora en la seguridad vial.



5. RECOMENDACIONES

Para el caso específico del tramo donde se ubica el fotorradar ubicado cerca de Terramall, sentido Cartago-San José, Ruta Nacional N°2, se sugieren dos escenarios:

- a. Se recomienda planificar la inversión de las obras de mitigación para mejorar las condiciones de circulación en el tramo (dotar de bahía a la parada de bus o cambiar su ubicación, proteger las pilas y gradas del puente peatonal mediante un sistema de contención, impedir el cruce de peatones en la calzada, mejorar el diseño de los accesos del Terramall, mejorar la señalización horizontal y vertical), así como cualquier otra medida que eventualmente identifique la Administración. De este modo, la velocidad máxima permitida en ese tramo podría ser mayor de 60 km/h, otorgando a la carretera un límite de velocidad consistente con las condiciones de operación de la carretera.
- b. De mantenerse las características actuales del entorno (parada de bus sin bahía, cruce de peatones en la calzada, obstáculos al lado de la vía, entre otros), se justificaría restringir la velocidad en el tramo, para lo cual es indispensable que se revisen los límites de velocidad restringida, pues no es conveniente un cambio de velocidad de más de 20 km/h en una distancia menor de 2 km. Se recomienda invertir en medidas que reduzcan la velocidad y no sólo en la utilización del control mediante el fotorradar. Como parte de las medidas de mitigación complementarias, se debe considerar una mejora de la demarcación vial. En el Anexo D se mencionan algunas otras medidas para la gestión de la velocidad.

Para los otros tramos donde se vayan a colocar fotorradares, se pueden considerar los mismos criterios técnicos planteados anteriormente, adaptados a cada caso particular, de acuerdo al diagnóstico que realice la Administración. A continuación se presentan otras recomendaciones generales que pueden ser consideradas por la Administración.

- a. Hacer un diagnóstico en relación a la accidentalidad cuya causa esté asociada a la velocidad excesiva. Para esto es importante utilizar la mayor cantidad de información

Informe LM-PI-AT-109-11	Fecha de emisión: 2 de setiembre de 2011	Página 31 de 48
-------------------------	--	-----------------

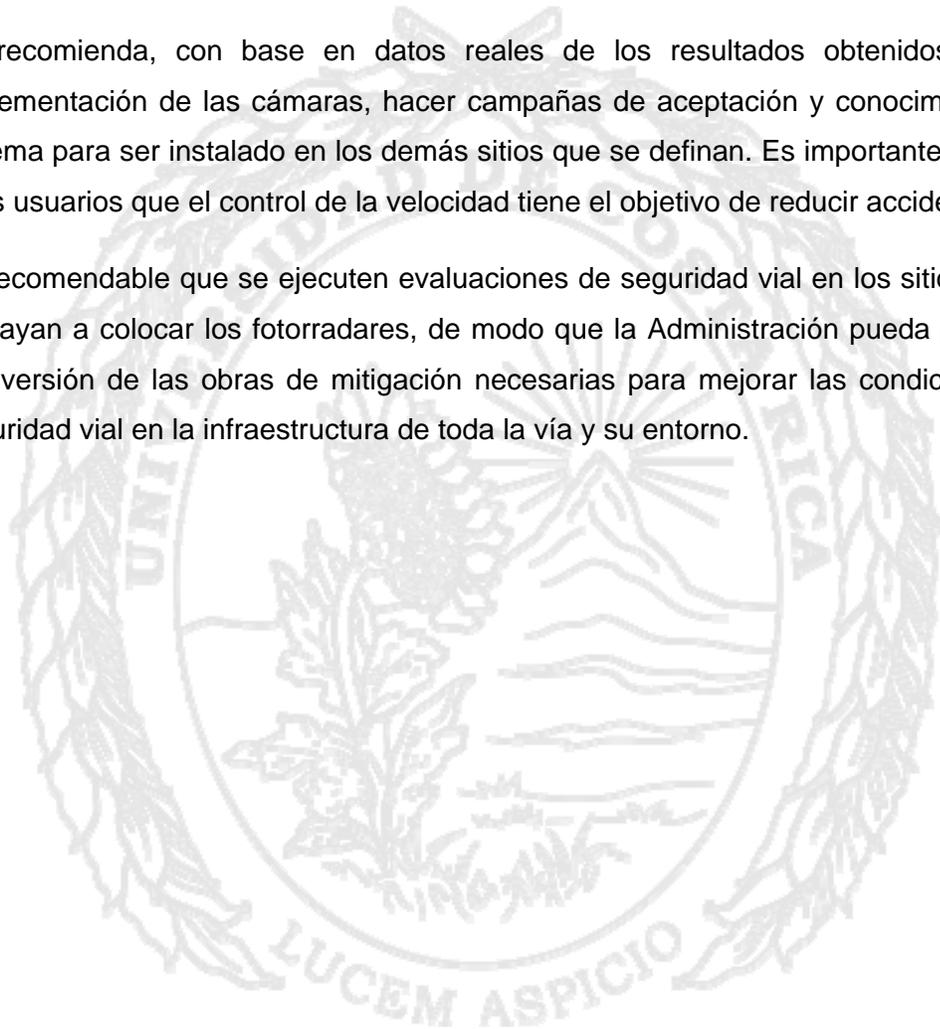


- temporal existente, de modo que no se generen sesgos en la probabilidad o tendencia de ocurrencia de accidentes en cada uno de los sitios.
- b. Definir la ubicación de los fotorradars de acuerdo con una planificación, basada en el diagnóstico de accidentalidad; se podrían colocar en los sitios donde existe mayor tasa de accidentalidad debido al exceso de velocidad y algunos otros puntos definidos mediante criterios técnicos.
 - c. En caso de que no se cuente con una base de datos que permita correlacionar el accidente con la causa de velocidad excesiva, pero que exista la percepción de que los accidentes que ocurren en un tramo están asociados al exceso de velocidad, es recomendable realizar una verificación exhaustiva de las condiciones de velocidad de operación y el entorno de la vía, mediante un estudio de campo.
 - d. Podrían existir fotorradars fijos y otros móviles, los cuales podrán irse cambiando de posición, según se requiera y se considere necesario. Para que el uso de los fotorradars sea una herramienta de control y no de represión, los usuarios deberían tener información de que las cámaras estarán rotando de posición en ciertos tramos de carretera, de modo que respeten los límites de velocidad en todos los tramos monitoreados.
 - e. Se recomienda que el señalamiento vial que se coloque para informar sobre el control mediante fotorradars se coloque a lo largo de la carretera que es monitoreada y no solamente en el punto donde se ubica el radar, de modo que aumente la efectividad del control de velocidad en toda la carretera y no solamente en un sitio.
 - f. Es recomendable contar con perfiles de velocidad de diseño y de operación, que permitan contrastar en cada punto la diferencia entre ambas (Echaveguren et al, 2009), con esto se podría hacer un análisis de consistencia y se podría mejorar el trazado existente, si es que corresponde.
 - g. Realizar un estudio de ingeniería para definir el control de velocidades a lo largo de la carretera e instalar el señalamiento vertical y horizontal adecuado (LanammeUCR, 2003). La Dirección General de Ingeniería de Tránsito (DGIT, 2009) llevó a cabo un



Estudio de Velocidades en las Principales Rutas Nacionales en el año 2009. Esta información es muy valiosa y debe tomarse en cuenta.

- h. Es importante realizar un plan piloto, de esta forma se pueden obtener estadísticas iniciales de la variación en la cantidad y severidad de los accidentes en las diferentes zonas donde se ubican los fotorradares, así como de la variación en la velocidad de operación.
- i. Se recomienda, con base en datos reales de los resultados obtenidos con la implementación de las cámaras, hacer campañas de aceptación y conocimiento del sistema para ser instalado en los demás sitios que se definan. Es importante informar a los usuarios que el control de la velocidad tiene el objetivo de reducir accidentes.
- j. Es recomendable que se ejecuten evaluaciones de seguridad vial en los sitios donde se vayan a colocar los fotorradares, de modo que la Administración pueda planificar la inversión de las obras de mitigación necesarias para mejorar las condiciones de seguridad vial en la infraestructura de toda la vía y su entorno.





6. REFERENCIAS

- [1] American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 2004. A Policy on Geometric Design of the Highways and Streets. Cuarta Edición. Washington, D.C.
- [2] Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito (CONASET), 2008. Apuntes del Curso de Seguridad Vial. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.
- [3] Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito (CONASET), 2010. Medidas de Tráfico Calmado: Guía de criterios para la aplicación, ubicación, diseño y señalización de medidas para el tráfico calmado. Disponible en http://www.conaset.cl/portal/portal/default/guia_trafico_10
- [4] Dirección General de Ingeniería de Tránsito (DGIT), 2009. Estudio de Velocidades en las Principales Rutas Nacionales. Departamento de Estudios y Diseños. Costa Rica
- [5] Echaveguren, T., Vargas-Tejeda, S., Altamira, A., Riveros D., 2009. Criterios para el análisis de consistencia del diseño geométrico: velocidad, aceleración, visibilidad y confiabilidad. Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito.
- [6] Echaveguren, T., Vargas-Tejeda, S., Altamira, A., Riveros M., 2010. Perfiles de Velocidad: Una herramienta esencial para el Análisis de Consistencia. Congreso Iberoamericano de Seguridad Vial (CISEV).
- [7] Federal Highway Administration (FHWA), 2003. Manual on Uniform Traffic Control Devices, U.S.
- [8] Global Road Safety Partnership, 2008. Speed management: a road safety manual for decision-makers and practitioners. Switzerland
- [9] Kraemer, C., Pardillo, J.M., Rocci S., Romana, M.G., 2003. Ingeniería de Carreteras, volumen 1. Editorial McGraw Hill.
- [10] LanammeUCR, 2011. Informe de Asesoría Técnica Control de velocidades por medio de fotorradars: LM-PT-036-2011.
- [11] LanammeUCR, 2003. Informe de Auditoría Técnica de Seguridad Vial Carretera Florencio del Castillo.
- [12] LanammeUCR, 2005. Manual "La ingeniería de tránsito y la gestión de seguridad vial".



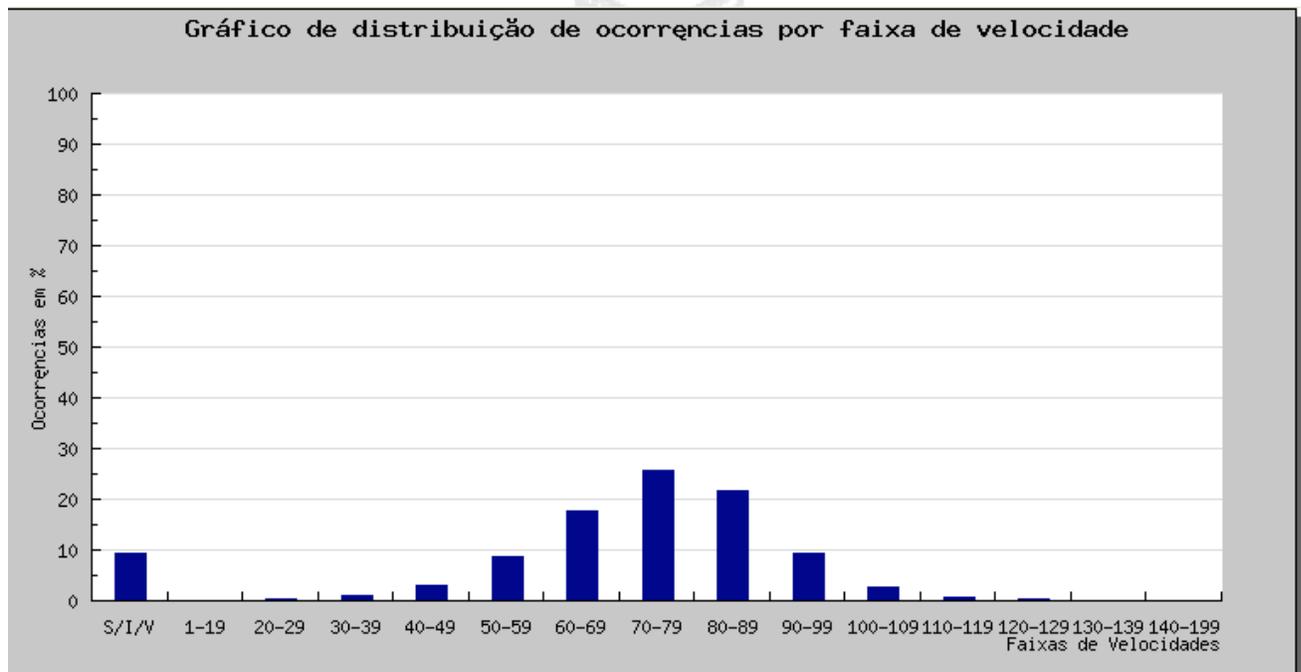
- [13] MAPFRE, 2005. Estudio Accidentalidad peatonal en núcleos urbanos. Disponible en <http://www.mapfre.com/fundacion/es/seguridad-vial.shtml>.
- [14] Mustyn y Sheppard, D., 1980. A National Survey of Driver' Attitudes and Knowledge About Speed Limits, SR 548, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, England.
- [15] National Cooperative Highway Research Program (NCHRP Report 504), 2003. Design Speed, Operating Speed, and Posted Speed Practices. Transportation Research Board. Washington, D.C.
- [16] Rizzi, L.I., 2009. Caso: Implementación en Chile de Tecnologías de Control de la Velocidad. Curso Externalidades de Transporte. Departamento de Ingeniería de Transporte y Logística Pontificia Universidad Católica de Chile.
- [17] Rodríguez, J.D., 2011. Plan de Inversión a nivel estratégico para los pavimentos flexibles de la Red Vial Nacional. Tesis (en ejecución) para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica.
- [18] Rosén, E. y Sander, U., 2009. Pedestrian fatality risk as a function of car impact speed. Suecia.
- [19] Secretaría de Integración Económica de Centroamérica (SIECA), 2000. Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control de Tránsito.
- [20] Secretaría de Integración Económica de Centroamérica (SIECA), 2001. Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales.
- [21] Transportation Association of Canada (TAC), 2004. The Canadian Guide to In-service Road Safety Reviews.
- [22] World Road Association (PIARC), 2003. Road Safety Manual: Recommendations from the World Road Association. Vol. 1. Francia.

7. ANEXOS

A. Datos de velocidad medidos con el fotorradar ubicado cerca de Terramall, Año 2010.

Los datos fueron suministrados por COSEVI.

Sentido de circulación Cartago-San José.



Distribuição por porte veicular											
Meses	* S / I / P	%	Moto	%	Pequeno	%	Médio	%	Grande	%	Total
08/2010	18.034	8,16	1.861	0,84	193.375	87,53	2.963	1,34	4.696	2,13	220.929
09/2010	36.156	9,15	4.186	1,06	337.005	85,26	7.445	1,88	10.465	2,65	395.257
10/2010	25.186	6,92	14.036	3,85	294.813	80,97	18.558	5,10	11.520	3,16	364.113
11/2010	25.639	6,29	15.797	3,87	272.392	66,80	70.509	17,29	23.421	5,74	407.758
12/2010	73.950	17,93	12.109	2,94	215.446	52,25	86.504	20,98	24.346	5,90	412.355
Total	178.965	9,94	47.989	2,67	1.313.031	72,93	185.979	10,33	74.448	4,14	1.800.412



Totalização de Movimentação Veicular por Mês - 2010

Seleção Totais Imprimir Grupo 001 - Pan American Highway - Florencio Del Castillo Km12,560 Máquinas do Grupo

Distribuição por faixa de velocidade

Meses	* S / I / V	1-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99
08/2010	14.976	512	856	2.274	6.941	18.000	35.277	56.210	51.695	24.025
09/2010	27.804	1.397	2.140	4.114	12.017	34.180	71.610	104.962	86.726	35.847
10/2010	24.630	173	600	3.308	10.485	30.622	65.081	96.520	82.519	35.940
11/2010	25.690	417	1.084	4.131	13.203	38.574	78.627	107.978	87.486	36.259
12/2010	74.203	148	622	3.135	10.334	32.692	67.361	96.719	80.904	33.487
Total	167.303	2.647	5.302	16.962	52.980	154.068	317.956	462.389	389.330	165.558

* S / I / V = Sem Informação de Velocidade

Seleção

Meses	100-109	110-119	120-129	130-139	140-199	Total	Média
08/2010	7.386	2.034	530	142	71	220.929	76
09/2010	10.616	2.823	730	198	93	395.257	75
10/2010	10.553	2.644	715	215	108	364.113	76
11/2010	10.380	2.780	791	250	108	407.758	75
12/2010	9.391	2.364	683	196	116	412.355	75
Total	48.326	12.645	3.449	1.001	496	1.800.412	75

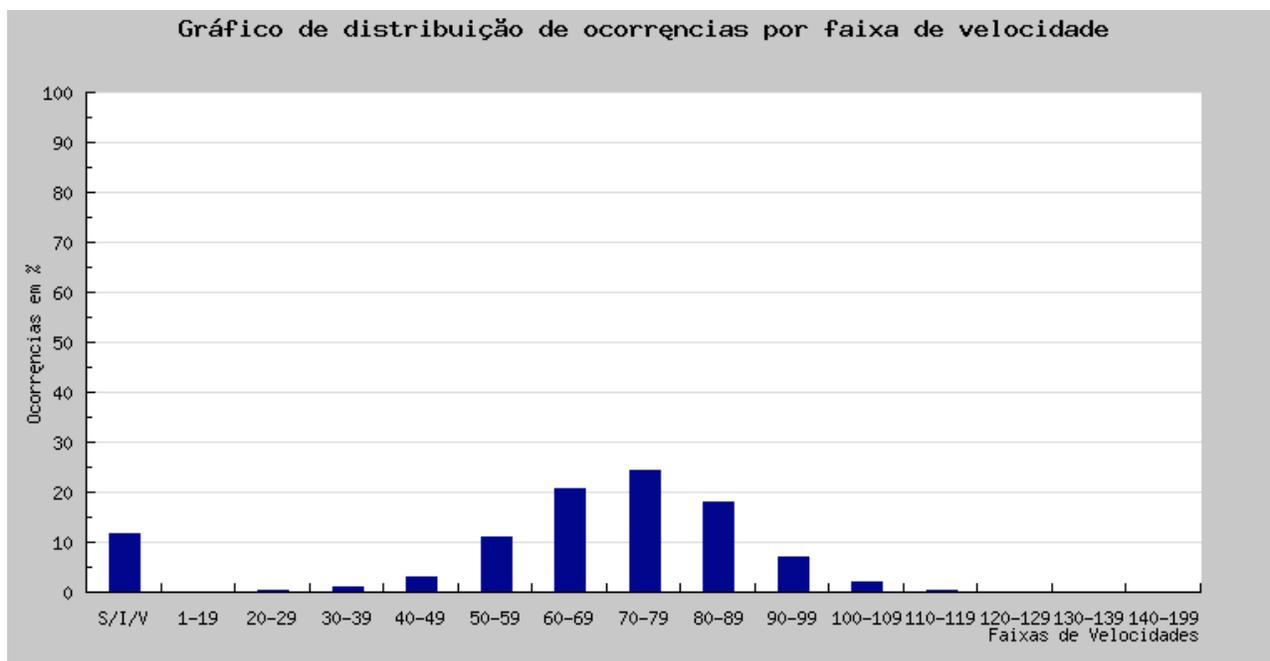
* S / I / V = Sem Informação de V



B. Datos de velocidad medidos con el fotorradar ubicado cerca de Terramall, Año 2011.

Los datos fueron suministrados por COSEVI.

Sentido de circulación Cartago-San José.



Distribuição por porte veicular

Meses	* S / I / P	%	Moto	%	Pequeno	%	Mélio	%	Grande	%	Total
01/2011	120.182	58,73	4.045	1,98	52.036	25,43	22.295	10,90	6.063	2,96	204.621
02/2011	33.030	7,51	18.947	4,31	269.909	61,36	88.462	20,11	29.532	6,71	439.880
03/2011	26.527	7,00	18.227	4,81	214.231	56,50	91.778	24,20	28.431	7,50	379.194
04/2011	27.571	7,11	17.178	4,43	218.572	56,40	96.824	24,98	27.425	7,08	387.570
05/2011	32.288	7,68	19.147	4,55	233.874	55,61	104.743	24,91	30.512	7,26	420.564
06/2011	34.291	8,50	18.684	4,63	220.947	54,79	101.348	25,13	27.970	6,94	403.240
07/2011	18.887	7,53	12.411	4,95	140.091	55,85	63.286	25,23	16.140	6,44	250.815
Total	292.776	11,78	108.639	4,37	1.349.660	54,29	568.736	22,88	166.073	6,68	2.485.884

Totalização de Movimentação Veicular por Mês - 2011

Seleção Totais Imprimir Grupo 001 - Pan American Highway - Florencio Del Castillo Km12,560 Máquinas do Grupo

Distribuição por faixa de velocidade

Meses	* S / I / V	1-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99
01/2011	120.014	695	1.850	1.436	2.805	8.978	17.700	22.542	18.202	7.513
02/2011	32.795	388	977	4.469	12.782	42.081	86.361	113.630	93.156	38.658
03/2011	26.459	856	2.410	5.209	11.568	38.778	77.354	98.102	76.635	30.302
04/2011	27.579	119	580	3.630	11.595	39.046	77.180	100.751	80.343	33.820
05/2011	32.281	587	1.562	4.734	13.183	44.021	88.708	109.797	82.111	32.007
06/2011	34.293	557	1.400	4.164	13.374	49.184	91.652	102.816	70.976	25.845
07/2011	18.882	185	557	3.013	12.455	52.082	73.526	53.359	26.034	8.040
Total	292.303	3.387	9.336	26.655	77.762	274.170	512.481	600.997	447.457	176.185

* S / I / V = Sem Informação de Velocidade

Seleção

Meses	100-109	110-119	120-129	130-139	140-199	Total	Média
01/2011	2.066	559	170	38	53	204.621	73
02/2011	10.650	2.762	777	215	179	439.880	75
03/2011	8.514	2.089	598	208	112	379.194	74
04/2011	9.584	2.360	671	215	97	387.570	75
05/2011	8.555	2.151	613	177	77	420.564	73
06/2011	6.640	1.674	434	158	73	403.240	72
07/2011	2.008	477	125	47	25	250.815	67
Total	48.017	12.072	3.388	1.058	616	2.485.884	73

* S / I / V = Sem Informação de Ve



C. Datos de velocidad medidos por el LanammeUCR, 8 agosto 2011.

Ruta Nacional N° 2, Sentido Cartago-San José.

Sitio:	200 m antes del peaje	Frente a Terramall	Sitio donde se ubica fotorradar	Después de la cámara
Hora:	11:10-11:45 am	02:30 - 3:00 pm	03:00 - 3:30 pm	03:35 - 4:05 pm
1	73	74	59	83
2	73	80	61	74
3	72	85	81	81
4	76	76	65	88
5	65	67	62	83
6	92	63	74	74
7	97	82	84	85
8	78	81	83	62
9	77	80	71	76
10	54	85	58	79
11	90	66	93	65
12	66	122	69	80
13	69	64	99	83
14	67	77	86	90
15	87	71	76	79
16	80	96	57	67
17	71	86	65	74
18	90	79	68	67
19	74	77	64	79
20	87	67	61	69
21	90	74	83	71
22	95	74	63	63
23	64	76	43	70
24	60	67	64	85
25	93	80	61	71
26	89	73	91	81
27	64	81	69	85
28	78	79	71	83
29	82	85	78	88
30	78	74	62	75
31	78	76	81	88
32	83	84	61	69
33	72	78	77	88



Sitio:	200 m antes del peaje	Frente a Terramall	Sitio donde se ubica fotorradar	Después de la cámara
Hora:	11:10-11:45 am	02:30 - 3:00 pm	03:00 - 3:30 pm	03:35 - 4:05 pm
34	85	98	85	75
35	74	71	69	76
36	71	81	58	128
37	75	69	70	81
38	64	88	74	89
39	83	69	95	108
40	78	78	59	76
41	76	74	63	90
42	79	73	85	85
43	85	85	80	92
44	82	73	71	81
45	90	81	70	85
46	83	82	62	85
47	74	62	50	76
48	77	57	60	83
49	78	70	63	92
50	79	83	67	84
51	104	84	64	85
52	88	69	55	69
53	66	83	51	86
54	60	76	58	64
55	86	72	69	81
56	97	56	71	75
57	83	82	60	75
58	92	74	68	85
59	82	68	60	81
60	95	71	60	90
61	78	123	80	83
62	83	88	88	97
63	69	79	60	99
64	92	70	54	83
65	74	83	81	81
66	101	70	51	79
67	97	91	75	58
68	75	71	48	88
69	70	76	76	84



Sitio:	200 m antes del peaje	Frente a Terramall	Sitio donde se ubica fotorradar	Después de la cámara
Hora:	11:10-11:45 am	02:30 - 3:00 pm	03:00 - 3:30 pm	03:35 - 4:05 pm
70	74	78	71	86
71	91	61	64	88
72	90	71	56	89
73	81	62	63	85
74	51	78	53	73
75	64	68	58	91
76	99	70	67	83
77	94	81	76	106
78	71	73	56	77
79	74	83	53	83
80	58	78	74	94
81	77	78	76	74
82	72	71	84	62
83	92	64	58	66
84	75	70	67	88
85	70	81	76	75
86	52	71	69	84
87	78	76	66	83
88	91	103	88	83
89	102	84	62	82
90	81	78	55	92
91	85	79	62	77
92	64	85	71	75
93	64	91	67	76
94	76	85	56	66
95	90	83	56	76
96	68	85	56	62
97	76	74	62	61
98	44	81	64	60
99	92	76	69	74
100	83	74	76	83
101	71	60	53	83
102	108	77	64	77
103	72	78	65	84
104	78	83	81	96
105	85	90	60	63



Sitio:	200 m antes del peaje	Frente a Terramall	Sitio donde se ubica fotorradar	Después de la cámara
Hora:	11:10-11:45 am	02:30 - 3:00 pm	03:00 - 3:30 pm	03:35 - 4:05 pm
106	86	78	76	76
107	87	62	74	87
108	81	85	66	74
109	85	94	62	83
110	90	90	53	74
111	79	94	74	84
112	92	77	62	71
113	74	61	54	75
114	91	67	85	77
115	63	74	68	69
116	92	83	90	82
117	79	68	58	113
118	78	74	71	81
119	69	72	63	81
120	95	63	69	113
121	74	72	64	84
122	81	90	82	84
123	82	63	85	83
124	85	78	78	86
125	85	40	53	78
126	88	72	90	85
127	74	86	69	76
128	95	74	83	86
129	90	82	83	90
130	85	94	72	83
131	80	63	51	99
132	75	88	58	72
133	85	82	83	92
134	58	75	71	75
135	78	82	71	71
136	69	75	57	77
137	85	92	68	62
138	62	80	78	80
139	108	90	88	72
140	73	85	71	75
141	78	84	83	96

Sitio:	200 m antes del peaje	Frente a Terramall	Sitio donde se ubica fotorradar	Después de la cámara
Hora:	11:10-11:45 am	02:30 - 3:00 pm	03:00 - 3:30 pm	03:35 - 4:05 pm
142	84	83	65	81
143	79	80	62	80
144	76	83	64	79
145	78	97	72	88
146	76	95	69	88
147	99	58	114	75
148	90	79	66	71
149	64	81	61	92
150	90	76	59	95
Promedio	79,66	77,73	68,66	80,91
Percentil 85	91,65	85	82,65	89

Análisis estadístico

Un total de 600 datos de velocidad fueron tomados en campo, en 4 puntos a lo largo del tramo de estudio, con una muestra de 150 datos en cada punto.

Con base en estas mediciones, se calculó la velocidad promedio, así como el percentil 85, el cual es el que generalmente se utiliza para cuantificar la velocidad real de operación de una vía.

Las siguientes dos ecuaciones fueron utilizadas para demostrar estadísticamente que se observa una reducción de la velocidad de acuerdo con las mediciones, con un 95% de nivel de confianza. La prueba utilizada fue la t-Student, donde se utilizan los siguientes parámetros: la desviación estándar combinada (S_{AB}), el estadístico t , los tamaños de muestra (n_1 y n_2), las desviaciones estándar de ambas muestras (s_1 y s_2) y los promedios de velocidad (x_1 y x_2).

$$S_{AB} = \sqrt{\frac{(n_1-1)s_1^2 + (n_2-1)s_2^2}{(n_1+n_2-2)}} \quad (1)$$

$$t = \frac{|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|}{s_{AB} \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (2)$$

Con la prueba t-student se comparan los promedios entre dos muestras. Un ejemplo se muestra a continuación:

Tabla C-1. Ejemplo de cálculo de una prueba *t*.

Entre el Punto 2 y el Punto 3	
$S_{AB} =$	11,187
$t_{exp} =$	7,024
t_{cr} (2 colas)	1.968
$t_{exp} > t_{cr}$	Sí

Donde,

$$s_{AB} = \sqrt{\frac{(n_1-1) \cdot s_1^2 + (n_2-1) \cdot s_2^2}{(n_1+n_2-2)}} = \sqrt{\frac{(180-1) \cdot (10,8)^2 + (180-1) \cdot (11,6)^2}{(180+180-2)}} = 11,187 \quad (3)$$

$$t = \frac{|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|}{s_{AB} \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} = \frac{|77,7 - 68,7|}{11,187 \cdot \sqrt{\frac{1}{180} + \frac{1}{180}}} = 7,024 \quad (4)$$

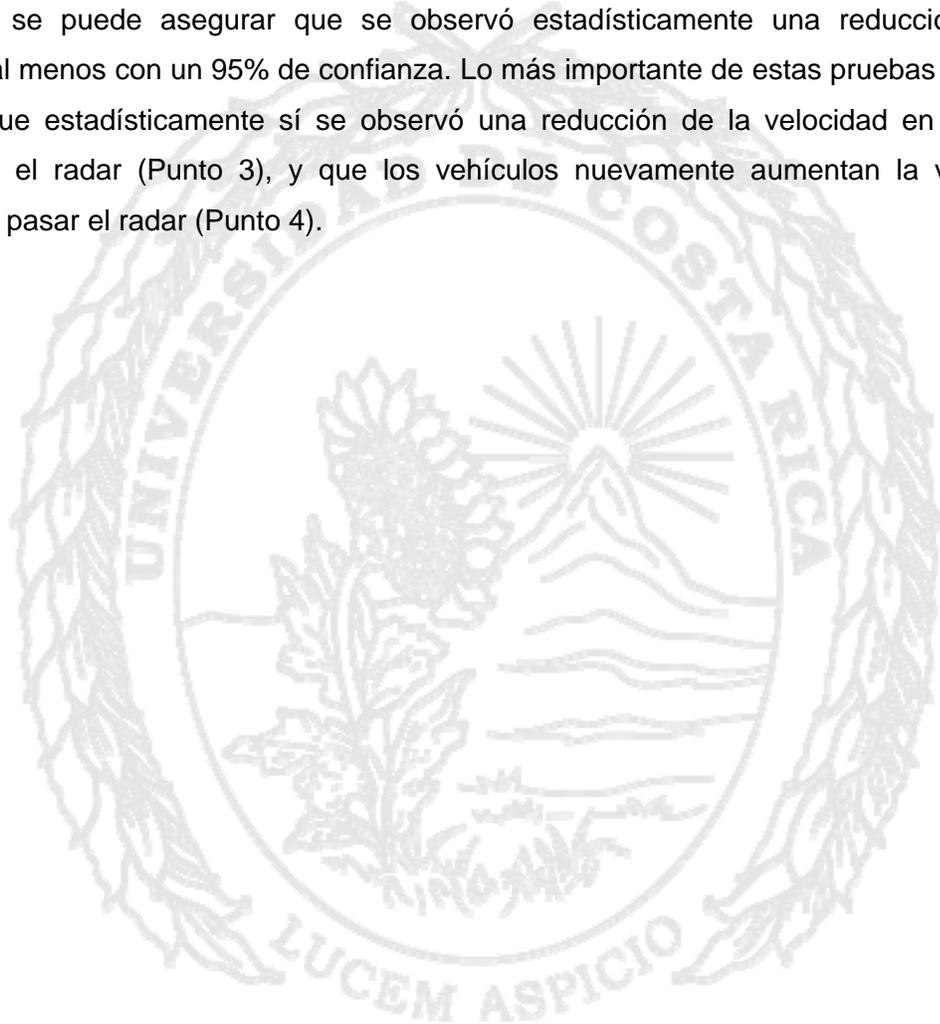
Los resultados de las 4 pruebas efectuadas se muestran a continuación:

Tabla C-2. Resultados de las pruebas *t* efectuadas.

	Puntos 1-2	Puntos 2-3	Puntos 3-4	Puntos 1-3
S_{AB}	11,151	11,187	11,088	11,550
t_{exp}	1,496	7,024	9,566	8,248
t_{th}	1,968	1,968	1,968	1,968
$t_{exp} > t_{th}$	No	Sí	Sí	Sí



Como se puede observar en la Tabla C-2, las pruebas entre los puntos 2-3 y 3-4 muestran una reducción estadísticamente significativa, lo cual concuerda con lo esperado por la presencia de los fotorradars. En el caso de la prueba entre los puntos 1-3, se evidencia un aumento estadísticamente significativo de la velocidad, una vez que los vehículos abandonan la zona de influencia del fotorradar. Por último, la prueba entre los puntos 1-2, en la cual no se puede asegurar que se observó estadísticamente una reducción en la velocidad, al menos con un 95% de confianza. Lo más importante de estas pruebas es poder constatar que estadísticamente sí se observó una reducción de la velocidad en el punto donde está el radar (Punto 3), y que los vehículos nuevamente aumentan la velocidad después de pasar el radar (Punto 4).



D. Medidas para la gestión de la velocidad.

Para justificar la implementación de medidas para reducir la velocidad (medidas de “tráfico calmado”), se debe recolectar información de la cantidad de accidentes, la cantidad y tipo de usuarios que fallecieron en accidentes provocados por la velocidad, edad y género de las víctimas, tipo de carretera, volumen vehicular, velocidad de operación, límites de velocidad, entre otros (*Global Road Safety Partnership*, 2008).

Las propuestas de “tráfico calmado” incluyen modificaciones verticales u horizontales de la superficie y trazado de la vía, uso de elementos que inciden en percepción y medidas de gestión de tránsito. Los criterios para la ubicación de medidas de tráfico calmado, así como las dimensiones recomendadas de dichas medidas, se pueden consultar en la Guía Práctica Medidas de Tráfico Calmado (CONASET, 2010).

Una medida de “tráfico calmado” corresponde a las demarcaciones alertadoras, las cuales constituyen una serie de líneas demarcadas transversalmente (puede ser en todo el ancho de la carretera o en una parte de ella según se requiera, ver Fotografía D.1).



Fotografía D.1. Ejemplo de demarcación alertadora.
Fuente: Medidas de Tráfico Calmado (CONASET, 2010).

La función de la demarcación alertadora es crear en el conductor la percepción de ir a mayor velocidad, por lo cual se induce al mismo a reducirla. El ancho de las líneas es de 50cm y su color es blanco, además su distancia al borde de la calzada debe ser mínimo 30cm y el



espaciamiento entre líneas es decreciente y su cantidad varía con la velocidad de operación (CONASET, 2010).

Otra medida de “tráfico calmado” es el uso de texturas y colores, cuyo objetivo es que el conductor perciba que el lugar donde transita posee características diferentes. Esto hace que el usuario tienda a disminuir su velocidad.

Para lograr el efecto de distinguir la zona, se utilizan colores en la superficie de la calzada, cambios de textura de la superficie de ruedo (ver Fotografía D.2). Este tipo de medida de tráfico calmado puede ser complementada con otros elementos.



Fotografía D.2. Ejemplo de uso de texturas y colores en una intersección.
Fuente: Medidas de Tráfico Calmado (CONASET, 2010).