



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Informe No. LM-PI-USVT-002-17

Estudio del impacto del radar pedagógico como medida de seguridad vial de tráfico calmado para disminución de la velocidad en vías urbanas

Preparado por:
Unidad de Seguridad Vial y Transporte

San José, Costa Rica
Abril, 2017

Documento generado con base en el Art. 6, inciso g) de la Ley 8114 y lo señalado en el Cap. IV, Art. 47 Reglamento al Art. 6 de la precitada ley, publicado mediante decreto DE-37016-MOPT.
Preparado por: Unidad de Seguridad Vial y Transporte del PITRA-LanammeUCR diana.jimenez@ucr.ac.cr





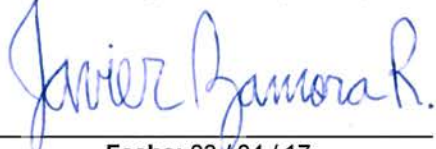

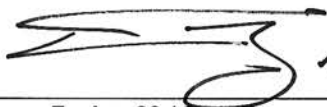
1. Informe LM-PI-USVT-002-17		2. Copia No. 1	
3. Título y subtítulo: Estudio del impacto del radar pedagógico como medida de seguridad vial de tráfico calmado para disminución de la velocidad en vías urbanas		4. Fecha del Informe Abril, 2017	
7. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales 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 El presente informe muestra los resultados del impacto en la reducción de velocidades de circulación a raíz de la instalación de un radar pedagógico como una medida de seguridad vial de tráfico calmado en una vía urbana. Para cuantificar dicho impacto se compararon las velocidades obtenidas mediante el radar pedagógico instalado, así como un contador neumático y un radar manual de velocidades, tanto antes como después de la implementación de la medida de tráfico calmado. En el análisis de velocidades medias entre el radar pedagógico y el contador neumático, no se observaron reducciones de velocidad significativas, en promedio. Los datos evidencian una brecha de 11,8 km/h en promedio entre los datos de ambos equipos. Los resultados del radar manual mostraron evidencia estadística de reducciones significativas de velocidad entre la condición "antes" y "después", a través del análisis de los perfiles de velocidad a lo largo de los 600 metros de la zona de estudio, con valores entre 3,1 y 11,4 % de reducción de velocidad, en promedio.			
10. Palabras clave: Radar pedagógico, seguridad vial, tráfico calmado, velocidad, medida		11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas 39
13. Preparado por: Ing. Javier Zamora Rojas, MScE Unidad de Seguridad Vial y Transporte  Fecha: 03 / 04 / 17			Esteban Oconitrillo Varela Asistente de la Unidad de Seguridad Vial y Transporte Fecha: 03 / 04 / 17
			Ing. Miguel A. Zamora Herrera Unidad de Seguridad Vial y Transporte Fecha: 03 / 04 / 17
14. Revisado por: Ing. Diana Jiménez Romero, MSc, MBA Coordinadora Unidad de Seguridad Vial y Transporte  Fecha: 03 / 04 / 17		15. Aprobado por: Ing. Guillermo Loría Salazar, PhD Coordinador General PITRA LanammeUCR  Fecha: 03 / 04 / 17	



TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	3
2. OBJETIVOS	4
2.1. OBJETIVO GENERAL	4
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
3. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	5
3.1. ALCANCE	5
3.2. LIMITACIONES	6
4. MARCO TEÓRICO	6
4.1. ESTUDIO DE VELOCIDAD	7
4.2. CASOS DE APLICACIÓN.....	12
4.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS	15
5. DISEÑO DEL PROYECTO.....	17
5.1. PUNTO DE ESTUDIO	17
5.2. CONSIDERACIONES IMPORTANTES DEL SITIO	18
5.3. RECOLECCIÓN DE DATOS.....	19
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS	21
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	31
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
ANEXO	37



1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de los años se ha vuelto necesario tomar acciones en carretera para intentar evitar los accidentes o disminuir la cantidad y severidad de los mismos, esto se puede lograr al ejecutar ciertas medidas de seguridad. Un tipo de medida de seguridad es el **uso de señales con mensaje variable**, el cual consiste en utilizar equipos que permitan desplegar algún tipo de mensaje como límites de velocidad permitidos, advertencias en caso de que se exceda dicho límite, condiciones peligrosas de la carretera, entre otras, con el objetivo de advertir a los conductores e incentivar un cambio en su comportamiento para propiciar menores velocidades de circulación.

La empresa Data Concept puso a disposición un radar pedagógico de tecnología francesa ÉlanCité –con fines de investigación– para ser estudiado por la Unidad de Seguridad Vial y Transporte del PITRA-LanammeUCR. Por esta razón, se planteó este proyecto de investigación, para evaluar el impacto que puede tener dicho radar pedagógico al ser utilizado como una medida de seguridad vial de tipo señal de mensaje variable.

El radar pedagógico permite desplegar en una pantalla la velocidad de los vehículos, una señal de advertencia en caso de que se exceda el límite de velocidad y 5 mensajes editables, lo cual –según la empresa– permite reducir la velocidad de los conductores. Además de esto, permite generar un registro de las velocidades a la que circulan los vehículos y realizar una estimación de la cantidad de vehículos.

La colocación de una medida de este tipo puede llegar a tener un impacto positivo al reducir la velocidad de los vehículos y, por ende, en una reducción del riesgo de ocurrencia de accidentes de tránsito. Por ejemplo, según McGee y Hanscom (2006) en California al colocar este tipo medida se logró una reducción de 44 % en los accidentes en el primer año de colocación, y de 39 % en el segundo año.



Este estudio es, además un insumo para la realización del Manual de Seguridad Vial que está siendo desarrollado por el PITRA-LanammeUCR; para evidenciar, a través de una ficha técnica, la implementación y efectividad de este tipo de medidas, como parte de todo un catálogo de medidas de seguridad vial.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Cuantificar el impacto en la reducción de la velocidad de operación del tráfico vehicular, a partir del uso de un radar pedagógico, como una medida de seguridad vial de tráfico calmado en una vía urbana.

2.2. Objetivos específicos

1. Obtener el flujo vehicular mediante el radar pedagógico y el contador neumático.
2. Comparar los flujos vehiculares registrados por el radar pedagógico y el contador neumático.
3. Obtener velocidades medias, de operación y máximas en el sitio de estudio mediante un radar pedagógico, un radar manual y un contador neumático.
4. Evaluar las velocidades registradas por el radar pedagógico al comparar con velocidades obtenidas mediante el radar manual y el contador vehicular.
5. Realizar un análisis antes y después con el fin de comparar las velocidades medias, de operación y máximas obtenidas mediante el radar pedagógico, el radar manual y el contador neumático.



3. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

3.1. Alcance

El punto de estudio se ubica en San Pedro de Montes de Oca, San José, específicamente en avenida 10, entre las calles 57 y 67.

El estudio se llevó a cabo por un periodo de 45 días, y se realizaron mediciones de velocidad antes y después de la colocación y activación del radar pedagógico como medida de seguridad. El radar pedagógico es de la empresa Data Concept, y el radar manual y los contadores neumáticos son propiedad del LanammeUCR.

Antes de poner en funcionamiento el radar pedagógico (mostrando en la pantalla las velocidades y advertencias a los conductores), se realizó un perfil de velocidades mediante el radar manual, el cual comprendió un tramo de 300 m antes de la cuadra en que se instaló el radar pedagógico y un tramo de 200 m después, para un total de 600 metros de área de estudio.

Debido a los cambios de velocidades ante la implementación de una medida, una vez que se puso en funcionamiento el radar pedagógico las mediciones con el radar manual se tomaron entre los 50 m y 100 m antes del radar pedagógico, luego en el punto de instalación del radar, y finalmente entre los 50 m y 100 m después del radar.

Las mediciones mediante el radar manual se realizaron fuera de horas pico debido a que se requiere un flujo libre de vehículos, para que la velocidad escogida por un conductor no se vea influenciada por la velocidad de otros vehículos. En el caso del contador neumático y del radar pedagógico, estos registran las velocidades a lo largo del tiempo en el cual se encuentran en funcionamiento.



3.2. Limitaciones

La efectividad de este tipo de medidas puede verse afectada cuando los conductores se acostumbran a la medida, y este efecto se puede evidenciar en los primeros días, en las primeras semanas, o incluso varios meses después, según el tipo de medida. Solo un estudio a más largo plazo podría cuantificar este efecto en términos de disminución de velocidades.

Una reducción en la velocidad de operación de los vehículos se puede ver afectada por condiciones climáticas o condiciones especiales en la carretera como algún tipo de accidente y no necesariamente por la medida colocada. De igual forma, afectan los vehículos estacionados en la vía, así como la dinámica y comportamiento de otros usuarios de la vía. Estos efectos se pueden controlar en el caso de las mediciones con el radar manual; sin embargo, este no es el caso del mismo radar pedagógico ni de los contadores neumáticos, en donde no se pueden discriminar estas situaciones particulares.

4. MARCO TEÓRICO

Para poder determinar si una medida de seguridad vial es efectiva se debe de efectuar un análisis o estudio antes y después de la colocación de la medida. Este análisis se puede realizar al comparar la cantidad y severidad de accidentes en un sitio específico antes y después de la colocación de la medida; sin embargo, para hacerlo de esta manera sería necesario varios años debido a que se requiere obtener muestras representativas de datos para analizar. Por lo tanto, se puede cuantificar el impacto de una medida de seguridad vial en un periodo de tiempo más corto, tal como lo es un estudio de velocidades antes y después de la implementación de una determinada medida.

Informe LM-PI- USVT-002-17	Fecha de emisión: 3 de abril del 2017	Página 6 de 39
----------------------------	---------------------------------------	----------------



4.1. Estudio de velocidad

Consiste en la obtención de datos de velocidad en un punto específico de la carretera para determinar la distribución de velocidades y calcular algunos parámetros estadísticos que permitan determinar aspectos como:

6. La velocidad de operación del sitio, la cual se aproxima con el percentil 85 en la práctica de la ingeniería vial.
7. El cumplimiento o no de los límites de velocidad reglamentarios.
8. La eficiencia de la colocación de medidas de seguridad o la necesidad de colocar otras medidas.

Para realizar mediciones de velocidad es posible utilizar varios equipos; para este estudio se van a utilizar tres equipos, uno manual y dos automáticos. A continuación se explica la función específica de cada uno de ellos y se brindan algunas indicaciones y consideraciones para su utilización.

Radar pedagógico

El radar pedagógico de la empresa Data Concept, de tecnología francesa ÉlanCité (ver Figura 1), registra continuamente las velocidades de los vehículos durante la totalidad del tiempo en el que se encuentra en funcionamiento. Además, permite desplegar en una pantalla la velocidad de los vehículos y ciertos mensajes de advertencia en caso de que se esté excediendo el límite de velocidad reglamentado. Mediante estos mensajes se espera que los conductores disminuyan la velocidad; de allí su componente pedagógico. El radar pedagógico también registra el flujo vehicular de forma continua.



Figura 1. Radar pedagógico de la empresa Data Concept

Nota: Tomado del sitio en internet de ÉlanCité, 2016.

El radar pedagógico presenta dos modos de funcionamiento, uno llamado **modo espía** en el cual solo se detectan y se almacenan las velocidades de los vehículos sin que se despliegue la velocidad ni ningún mensaje de advertencia; es decir, los conductores interpretan que el radar se encuentra "apagado". El otro es el **modo normal**, en el cual se despliegan las velocidades y los mensajes, se registran velocidades y se registra el flujo vehicular.

Mediante la comparación de las velocidades obtenidas **antes (modo espía)** y **después** de la colocación del radar en **modo normal**, se estudia el impacto del equipo como una medida para reducir la velocidad de los conductores.

Algunas indicaciones y consideraciones para su uso son:

- a. Se recomienda colocar el radar con un mínimo de 150 m de campo abierto; es decir, en áreas libres de árboles, postes, vehículos parqueados, entre otros que pueda obstruir el campo de detección del mismo radar.
- b. El radar debe estar alejado aproximadamente 64 m de señales grandes de tránsito.
- c. No se recomienda su instalación en intersecciones o puentes.



- d. La distancia mínima recomendable al tráfico cruzado (por ejemplo, en una intersección) es de 124 m.
- e. La altura a la cual debe ser colocado es entre 2,15 m y 4,85 m.

Radar manual de velocidad

El radar manual del LanammeUCR (ver Figura 2) permite realizar mediciones de velocidad puntuales. Su principal limitación es no poder hacer un barrido completo de velocidades; sin embargo, la ventaja es que se pueden tomar velocidades puntuales asegurando el flujo libre del vehículo, pudiendo descartar situaciones de congestión vial, entre otros aspectos que influyan directa o indirectamente en la escogencia de la velocidad por el conductor.

Al poder realizar mediciones más puntuales, el equipo es ideal para poder realizar un perfil de velocidades antes y después de la colocación del radar pedagógico en modo normal, con lo cual se puede medir el impacto de dicha medida de seguridad vial en la reducción de la velocidad de circulación de los vehículos no solo en el punto exacto donde está el radar pedagógico, sino en un cierto tramo antes y después.



Figura 2. Radar manual del LanammeUCR para elaboración de perfiles de velocidad



Algunas indicaciones y consideraciones para su uso son:

- a. Se recomienda tomar las lecturas de velocidad dentro del vehículo, con el fin de ser discretos y no alterar el comportamiento del conductor ni la escogencia de su velocidad.
- b. Se recomienda estacionar el vehículo a una distancia entre los 50 m y 100 m para no alterar la velocidad de circulación de los vehículos.
- c. Se debe, además, medir velocidades únicamente en flujo libre. En caso de que vehículos se muevan en grupos (conocido en inglés como *vehicle platoon*), solo se deberá tomar la velocidad del primer vehículo, debido a que las velocidades de los otros vehículos del grupo se van a ver influenciadas por la del primer vehículo.
- d. No se deben tomar velocidades en horas pico para evitar el congestionamiento vehicular, lo cual afecta el flujo libre de los vehículos y su elección de velocidad.

Contador neumático

El contador neumático del LanammeUCR utiliza dos tubos neumáticos (mangueras) para determinar el número de vehículos, el tipo y su velocidad, en una determinada calle o carretera. En la Figura 3 se puede observar un ejemplo de la colocación de las mangueras del contador neumático.



Figura 3. Ejemplo de instalación de contador neumático

Nota: LanammeUCR, 2013.

Algunas indicaciones y consideraciones para su uso son:

- a. El contador o las mangueras pueden ser propensas a sufrir daños por el paso de los vehículos o vandalismo, provocando problemas en la toma de datos.
- b. Si dos vehículos en dirección opuesta pasan por la manguera a la vez, podría darse un problema en el aforo. En este proyecto la configuración de la vía es en un solo sentido por lo que esto no sería una limitación.
- c. Se pueden presentar problemas en diferenciar varios vehículos juntos o un vehículo de varios ejes; sin embargo, por los anchos de carril de la calle en estudio, lo máximo serían 2 vehículos livianos pasando sobre las mangueras al mismo tiempo. La mayor parte del tiempo pasa un vehículo a la vez.



4.2. Casos de aplicación

California, Estados Unidos

En el año 1998, CALTRANS (Departamento de Transportes de California) utilizó señales con mensaje variable como una medida de seguridad vial en cinco curvas a lo largo del cañón del Río Sacramento. El tipo de señales que utilizaron les permitían advertir la proximidad de una curva e informar sobre la velocidad a la que circulaban y a la que debían circular.

La efectividad de esta medida se evaluó mediante estudios antes y después tanto de accidentes como de velocidades y de maniobras erráticas y, además, mediante la realización de encuestas. Para efectos de esta investigación solo se comentará la metodología usada para el estudio de velocidades antes y después.

Se realizaron un total de tres visitas a los cinco puntos de estudio, la primera se realizó nueve meses antes de la finalización de la instalación de la medida y se miden las velocidades antes de la medida de seguridad. La segunda se realizó tres meses después de estar funcionando el sistema de advertencia mediante señales con mensajes variables y la última se realizó siete meses después de estar en funcionamiento la medida de seguridad.

En cada una de las curvas elegidas se midió la velocidad en dos puntos, el primero exactamente en el punto en el cual se ubicaron las señales variables y el segundo aproximadamente en el inicio de la curva. Para medir las velocidades utilizaron un cronómetro para tomar el tiempo del vehículo en recorrer una distancia previamente marcada y medida, esto debido a que de la realización de pruebas con diferentes equipos para medir las velocidades obtuvieron mayor exactitud con dicho método.

Los resultados que obtuvieron al utilizar este tipo de medidas consistieron en una disminución significativa en la velocidad en dos de las cinco curvas en las que se



implementó, las cuales eran las que tenían mayor pendiente (entre -5 y -6 %). En otro de los puntos, los datos medidos mostraban que hubo un aumento en la velocidad, y en los otros dos puntos no existió diferencias significativas.

Virginia, Estados Unidos

Alrededor de 1998 se realizó en Charlottesville, Virginia, un estudio para cuantificar la efectividad del uso de señales con mensajes variables para reducir o controlar la velocidad de los vehículos.

Utilizaron comparaciones de resultados antes y después de la medida para evaluar el cambio de la velocidad en los conductores, este estudio lo realizaron en tres zonas.

Las velocidades y volúmenes de vehículos se obtuvieron mediante contadores de tráfico automáticos, las mediciones se realizaron en un punto ubicado al inicio de cada zona elegida, en el medio (punto cercano a la señal de mensajes variables) y al final de la zona. Además utilizaron cámaras para monitorear el comportamiento de los conductores después de la medida de seguridad.

Algunos de los resultados que obtuvieron son los siguientes:

- En dos de las zonas elegidas se determinó que los conductores que excedían el límite de velocidad redujeron en promedio alrededor de 12.86 km/h.
- En la tercer zona la reducción en la velocidad fue de 16.08 km/h
- El efecto de reducción de la velocidad que provocó la medida de seguridad era independiente del tipo de vehículo.



Heredia, Costa Rica

La empresa Data Concept colocó un radar pedagógico en San Francisco de Heredia y lo mantiene en funcionamiento entre mayo y junio de 2016 para realizar un primer estudio del impacto de estos radares en Costa Rica. En dicho caso colocaron el radar en modo espía durante una semana y en modo normal durante cuatro semanas. Se realizó un análisis de las velocidades de operación antes y después de la colocación del radar y se obtuvieron los siguientes resultados:

- Aumentó entre un 6,5 % y un 8,7 % el grupo de conductores que circulaban a una velocidad menor a la permitida (40 km/h). Se redujeron entre 6,5 % y 8 % la cantidad de conductores que viajaban a una velocidad entre los 41 y 60 km/h, y los que viajaban a velocidades mayores a 60 km/h entre un 0,4 % y un 0,8 %
- Se logró reducir la velocidad de operación (del percentil 85) de 48 km/h a un promedio de 45 km/h.

Cartago, Costa Rica

Fonseca y Zamora (2014) realizan una investigación en la cual cuantifican la efectividad de la demarcación vial transversal como una medida para la disminución de la velocidad. Se destaca esta investigación no por la medida estudiada, sino por la metodología utilizada para la recolección de datos y el análisis de datos que se llevó a cabo.

Para la recolección de datos Fonseca y Zamora (2014) realizaron un mínimo de 30 mediciones de velocidades mediante un radar manual antes y después de la demarcación de la medida de seguridad. Las mediciones se realizaron en un punto entre 50 y 100 m antes de la medida, en dos puntos cerca de la medida, y en otro punto entre los 50 y 100 m después. Una vez colocada la medida de

Informe LM-PI- USVT-002-17	Fecha de emisión: 3 de abril del 2017	Página 14 de 39
----------------------------	---------------------------------------	-----------------



seguridad vial se realizaron mediciones de velocidad a lo largo de 5 meses en los mismos puntos mencionados anteriormente y se analizaron los perfiles de velocidades. Para el análisis se utilizaron varios métodos estadísticos para determinar las significancias de los cambios de velocidad observados.

4.3. Análisis estadístico de los resultados

Para el análisis de los resultados obtenidos primero se verificó que la distribución de los datos tuviese un comportamiento normal, y en caso de que no, se realizaron ciertos ajustes de normalidad ya que esto es recomendable para poder realizar la comparación de las muestras antes y después de la medida por medio de métodos estadísticos. A continuación se presenta el procedimiento a seguir para realizar la prueba de normalidad. Por facilidad de cálculo se utilizó la herramienta Minitab, aunque esta prueba puede llevarse a cabo de diferentes maneras.

- En primer lugar, se ordenan los datos de menor a mayor, para obtener un serie de parámetros estadísticos como: tamaño de muestra, velocidad mínima, velocidad máxima, percentil 85, promedio y desviación estándar.
- Luego, se usa la prueba de normalidad de Anderson-Darling con un 90% de confianza con el software Minitab 15. Para ello, se utiliza la opción de Estadísticas Básicas-Prueba de Normalidad, esto para cada columna de mediciones ordenadas de menor a mayor.
- Seguidamente, como salida de la prueba en el programa, se obtiene un gráfico que muestra la linealidad de los datos. Para saber si los datos se ajustan a una distribución normal, basta con analizar el valor P que muestra el gráfico mencionado; de manera que si el valor P es menor al nivel de significancia, los datos no se ajustan a una distribución normal, y viceversa.

Informe LM-PI- USVT-002-17	Fecha de emisión: 3 de abril del 2017	Página 15 de 39
----------------------------	---------------------------------------	-----------------



- Luego, una vez normalizados los datos se realizaron pruebas estadísticas de *t*-Student para poder determinar si existían diferencias significativas entre las muestras. Para ello, se utilizan los parámetros estadísticos calculados en la prueba de normalidad: tamaño de muestra, media y desviación estándar. Adicionalmente, se requiere hacer el cálculo de la desviación estándar combinada S_{ab} , el valor experimental t_{exp} y el valor crítico t_{cr} (ver Anexo 1). Estos valores se determinan de la siguiente manera:

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

$$t_{exp} = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{S_{ab} * \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad [2]$$

Donde:

- n_i : tamaño de muestra;
 - \bar{x}_i : Promedio de la velocidad de la muestra;
 - s_i : desviación estándar;
- Finalmente, la prueba de *t*-Student es utilizada para conocer si dos muestras de velocidad presentan una diferencia estadísticamente significativa o no. Entonces con los parámetros y cálculos anteriormente comentados es posible determinar si hay un cambio importante en las velocidades de dos muestras diferentes; para ello se analiza si $t_{exp} > t_{cri}$, de ser así la diferencia es significativa.



5. DISEÑO DEL PROYECTO

5.1. Punto de estudio

Tal como se indicó en el alcance del estudio, el punto de estudio fue escogido en San Pedro de Montes de Oca, específicamente en avenida 10, entre las calles 57 y 67. La ubicación escogida se debe a que es un punto en el cual los conductores tienden a manejar a velocidades superiores al límite máximo permitido, es decir, a la velocidad reglamentaria de 50 km/h (zona urbana).

Se llevó a cabo un diagnóstico preliminar a través de la toma de un total de 30 datos de velocidades de operación utilizando un radar manual, con lo cual se corroboró que las velocidades de operación se encuentran por encima del límite establecido en esta zona. El sitio se observa en la Figura 4.

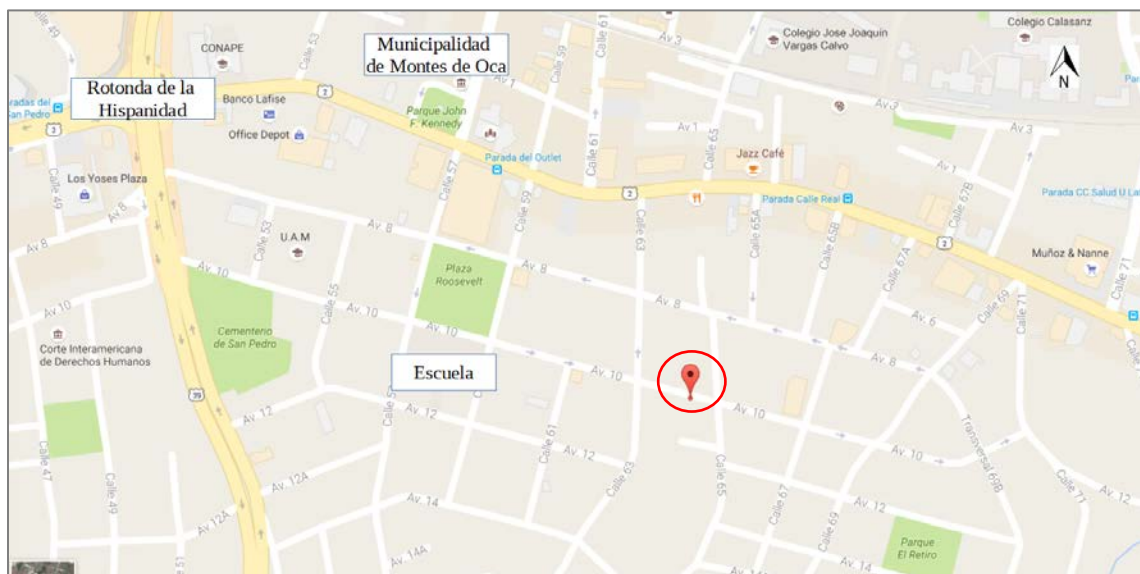


Figura 4. Ubicación del punto de estudio en San Pedro de Montes de Oca

Nota: Modificado de Google Maps, 2016.



5.2. Consideraciones importantes del sitio

La calle está demarcada para dos carriles en un mismo sentido; sin embargo, un ciclocarril había sido demarcado utilizando espacio del carril derecho. Además, es común observar vehículos parqueados sobre el ciclo carril, como incluso puede verse en la Figura 5 en el círculo amarillo.



Figura 5. Configuración de carriles y el ciclo carril en el sitio de estudio

Las condiciones anteriores provocan que el comportamiento de los conductores varíe dependiendo del espacio que hay en la carretera; es decir, cuando no hay vehículos parqueados a un costado ni ciclistas, el flujo vehicular se distribuye en dos carriles, y si hay vehículos parqueados o ciclistas transitando, el espacio queda limitado a un carril, generalmente hacia el centro de la calzada. Incluso sin otros usuarios ni obstáculos, debido a los anchos de carril lo más común es ver a los vehículos uno a uno hacia el centro de la calle, tal como se observa en la figura anterior.



En la cuadra escogida para la instalación del radar pedagógico se encontraron tres postes, dos metálicos y uno de concreto, y la ubicación de estos se observa esquemáticamente en la Figura 6. El radar pedagógico fue instalado en el poste de concreto por la empresa Data Concept con la ayuda de la grúa de la Dirección General de Ingeniería de Tránsito (DGIT-MOPT). El contador neumático del LanammeUCR fue instalado en el poste metálico hacia mitad de cuadra, a aproximadamente 25 metros del radar pedagógico, tal como también se puede observar en la Figura 5 de la página anterior.

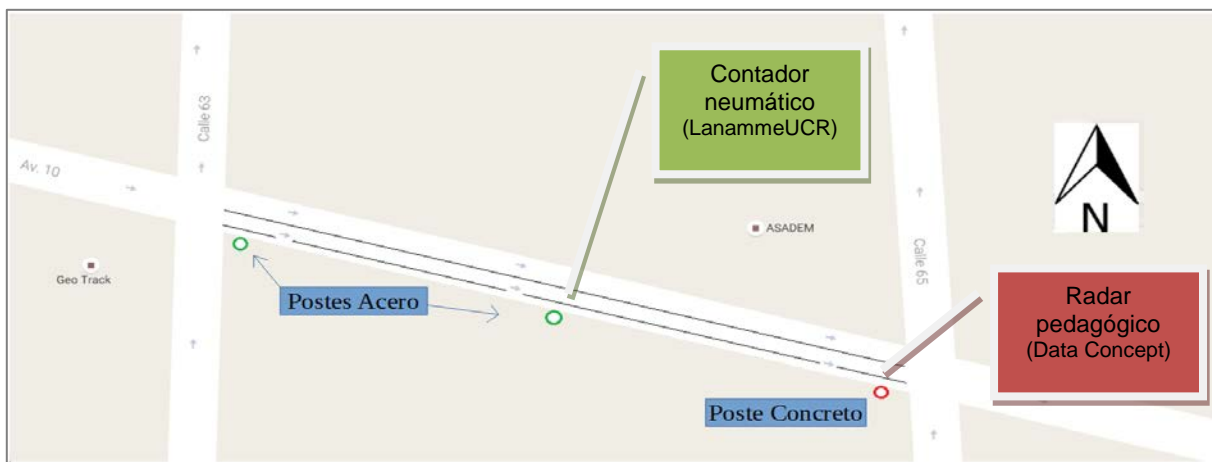


Figura 6. Ubicación de elementos en los cuales colocar los equipos

Nota: Modificado de Google Maps, 2016.

5.3. Recolección de datos

El radar pedagógico y el contador neumático se pusieron en funcionamiento durante aproximadamente 45 días. Puede ser que los resultados justifiquen próximas pruebas con un periodo de estudio más extenso, esto ya que en el caso de muchas medidas de seguridad vial lo que ocurre es que después de ciertos días, o semanas, o meses los conductores se comienzan a acostumbrar a la medida y, por ende, podría verse disminuido el efecto de reducción de velocidad.



Para poder evaluar el impacto en las velocidades de operación del radar pedagógico se utilizaron equipos del LanammeUCR, esto con el fin de comparar y evaluar los resultados obtenidos mediante el radar pedagógico.

El primero es el **contador neumático** el cual se utilizó tanto para medir velocidades en el mismo punto en el cual se instaló el radar pedagógico, como para obtener la cantidad de vehículos que transitan, y poder así compararlo con el dato estimado por el radar pedagógico.

El segundo equipo es el **radar manual**, el cual sirvió para evaluar el impacto que tiene el radar pedagógico en las velocidades de operación. Para ello, se realizaron mediciones a lo largo del tramo de estudio, tanto antes y como después de poner en funcionamiento el radar pedagógico. Se tomó un **mínimo de 30 mediciones de velocidad** en cada punto, para que los datos fueran estadísticamente significativos.

Antes de la colocación del radar pedagógico, se obtuvo un perfil de velocidades al realizar mediciones con el radar manual en seis puntos a lo largo de la Avenida 10, con el fin de conocer las velocidades de los vehículos en el tramo anterior y posterior al sitio de ubicación del radar pedagógico. Además, se analizó la influencia de las características físicas de la vía y del entorno en la escogencia de las velocidades por parte de los conductores. En la Figura 7 se observan los puntos elegidos para realizar las mediciones, los cuales están identificados con letras de la A a la F.



Figura 7. Ubicación de los puntos de toma de datos con el radar manual y de colocación del radar pedagógico y el contador neumático

Nota: Modificado de Google Maps, 2016.

Después de la colocación del radar pedagógico se realizaron mediciones en tres puntos propuestos, el primero entre 50 y 100 m antes del radar pedagógico, el segundo en un punto cercano al radar, y el tercero entre 50 y 100 m después del mismo. En la misma Figura 7 se muestra la ubicación de dichos puntos, identificados con los números 1, 2 y 3.

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación se presentan los resultados de las velocidades y de los conteos vehiculares, obtenidos a partir de mediciones en la zona de estudio (de aproximadamente 600 metros). De esta manera, se busca mostrar los diversos perfiles, en días previos y posteriores a la colocación del radar, para cada tipo de medición realizada, esto con la intención de realizar comparaciones que permitan establecer el funcionamiento del radar, específicamente en esta zona. Para ello, se presentan los resultados clasificados según: tipo, fecha y hora de las mediciones; teniendo en cuenta que de acuerdo a esta clasificación se pueden



realizar comparaciones y establecer las conclusiones pertinentes para este análisis.

Sobre los conteos vehiculares

A pesar de ser este estudio principalmente enfocado al análisis de las velocidades, es importante comparar los datos de tránsito registrados por los equipos, aprovechando su capacidad en la toma de esta información.

Se presenta en la Figura 8 el registro de volúmenes vehiculares promedio (por día y por hora) medidos con el contador neumático y con el radar pedagógico en el periodo de tiempo en que este segundo equipo se programó en modo espía. El gráfico muestra el comportamiento por hora del volumen vehicular promedio diario, por lo que para realizar una comparación válida, únicamente se consideraron los días en que hubo registros confiables de ambos equipos, ya que hubo un desfase entre la puesta en marcha de un equipo con respecto al otro. Estos promedios que se observan en la Figura 8 corresponden al promedio de un periodo de 8 días continuos.

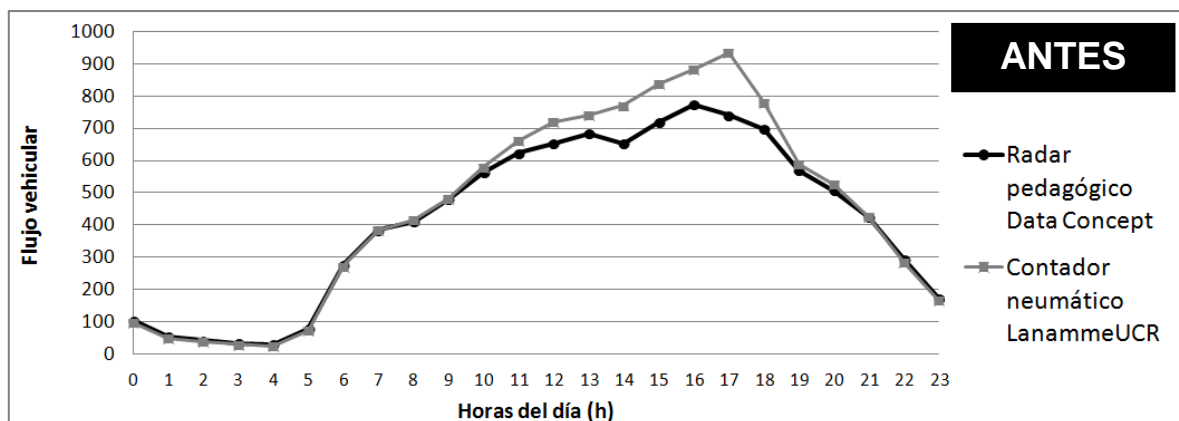


Figura 8. Volumen vehicular por hora del día con radar pedagógico en modo espía



Es importante resaltar que el contador neumático registró más vehículos, sobre todo en el periodo de las 2 a las 6 p.m., es decir, en las horas de mayor tránsito vehicular. La diferencia entre los datos del contador y del radar fueron de aproximadamente un 7,4 % para estos 8 días de conteos, en promedio. La diferencia más significativa se observa a las 5 p.m., con un diferencial de 20,8 %.

Por otra parte, en la Figura 9 se muestran los volúmenes vehiculares medidos con ambos equipos una vez que el radar pedagógico comenzó a operar en modo normal, tal como se explicó anteriormente. En este caso el periodo de días de coincidencia entre ambos equipos fue de 22 días, con lo cual se tienen más datos y esto se refleja en un error aún menor, de 5,8 % en promedio para esos días de conteo. En este caso también se destaca que el contador neumático registró más vehículos, sobre todo en el periodo entre las 4 p.m. y las 6 p.m., lo cual también coincide con las horas de mayor tránsito vehicular.

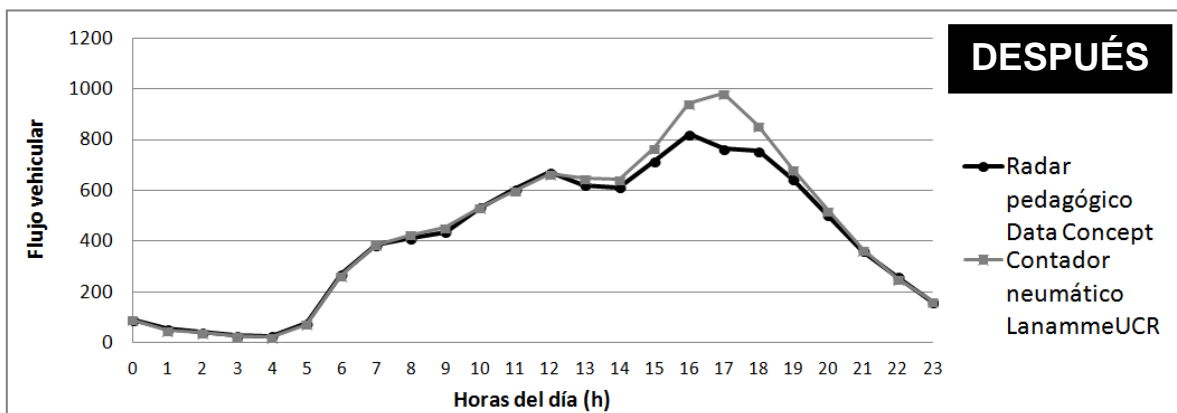


Figura 9. Volumen vehicular por hora del día con radar pedagógico en modo normal

En promedio, el contador neumático registró un TPD de 10 613 vehículos por día en ese tramo de vía, promediando los datos antes y después. En el caso del radar pedagógico, el promedio del antes y del después resultó en un TPD de 9 912 vehículos por día.



Sobre las velocidades medias

A continuación se detalla el perfil de velocidades medias para el contador neumático y el radar pedagógico con los datos tomados previo y posterior a la colocación del radar pedagógico (ver Figura 10).

Tal como se observa en el gráfico, las líneas punteadas muestran las velocidades "antes" de la colocación del radar pedagógico en modo normal, y las líneas sólidas muestran las velocidades "después" de la activación del radar pedagógico.

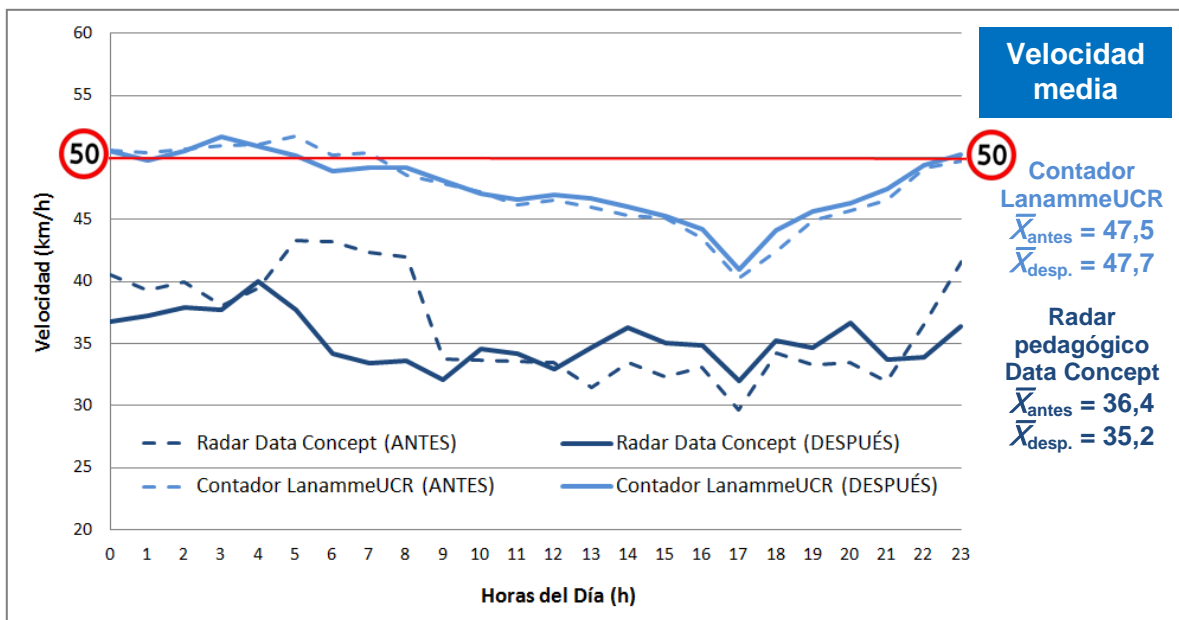


Figura 10. Perfil de velocidades medias del radar pedagógico y del contador neumático antes y después de la activación del radar

El promedio de las velocidades para el contador neumático fue de 47,5 km/h antes y 47,7 km/h después, por lo que no se observa, en promedio, una reducción de la velocidad media de los vehículos, a partir de los datos. En el caso del radar pedagógico, las velocidades registradas están en ambos casos por debajo de las



del contador neumático, pasando de 36,4 km/h a 35,2 km/h, en promedio, respectivamente antes y después de la activación del radar pedagógico.

En el Cuadro A2 del Anexo se muestra la prueba estadística *t*-Student para las diferencias horarias entre los datos de velocidad media antes y después del contador neumático. De las 24 horas del día, 16 horas mostraron, en promedio, diferencias estadísticamente significativas: de 5 a.m. a 8 a.m., de 11 a.m. a 9 p.m. y a las 11 p.m. Sin embargo, solo de las 5 a.m. a las 8 a.m. estas diferencias significativas corresponden a reducciones de velocidad después de la activación del radar pedagógico, con respecto a los datos antes de la activación.

En el caso del radar pedagógico, esta prueba estadística no fue posible hacerla ya que los datos que proporciona el equipo son velocidades medias y velocidades máximas, pero sin brindar detalles sobre las velocidades puntuales de cada vehículo. Por ello, no se pudieron determinar tamaños de muestra ni desviaciones estándar, con lo cual no se puede calcular la desviación estándar combinada, todos ellos valores requeridos para calcular el valor experimental t_{exp} .

En cuanto a las diferencias promedio entre ambos equipos, los datos "antes" muestran una diferencia de 11,1 km/h; lo cual significa que las velocidades registradas por el radar pedagógico son un 23,4 % menores que las del contador neumático. En el caso de los datos "después", la diferencia en promedio fue de 12,5 km/h; siendo nuevamente las velocidades del radar pedagógico menores que las del contador neumático en un 26,2 %. Con los datos que se tienen, no es posible determinar cuál de los dos equipos es más exacto en la toma de datos de velocidad, lo cual es una limitación que deberá ser abarcada con más precisión en futuros análisis comparativos, ya que diferencias de más de 20 % son muy significativas y podrían conducir a conclusiones inadecuadas.



Sobre las velocidades máximas

En cuanto a las velocidades máximas, estas se pueden observar en la Figura 11. Las líneas punteadas corresponden a la condición "antes" y las líneas sólidas a la condición "después", y en general se observa consistencia de los datos tomados por ambos equipos. Sin embargo, a pesar de algunas inconsistencias que se observan, los promedios resultaron parecidos, tal como se presentan en el gráfico.

En el caso "antes", los promedios andan entre 96,4 km/h y 92 km/h, para el contador neumático y el radar pedagógico, respectivamente. En el caso "después", los promedios calculados fueron de 100,9 km/h y 98,2 km/h, respectivamente para el contador neumático y el radar pedagógico. Las diferencias no son significativas; sin embargo, nuevamente los promedios fueron más altos para el contador neumático que para el radar pedagógico, pero diferencias menores que con las velocidades medias.

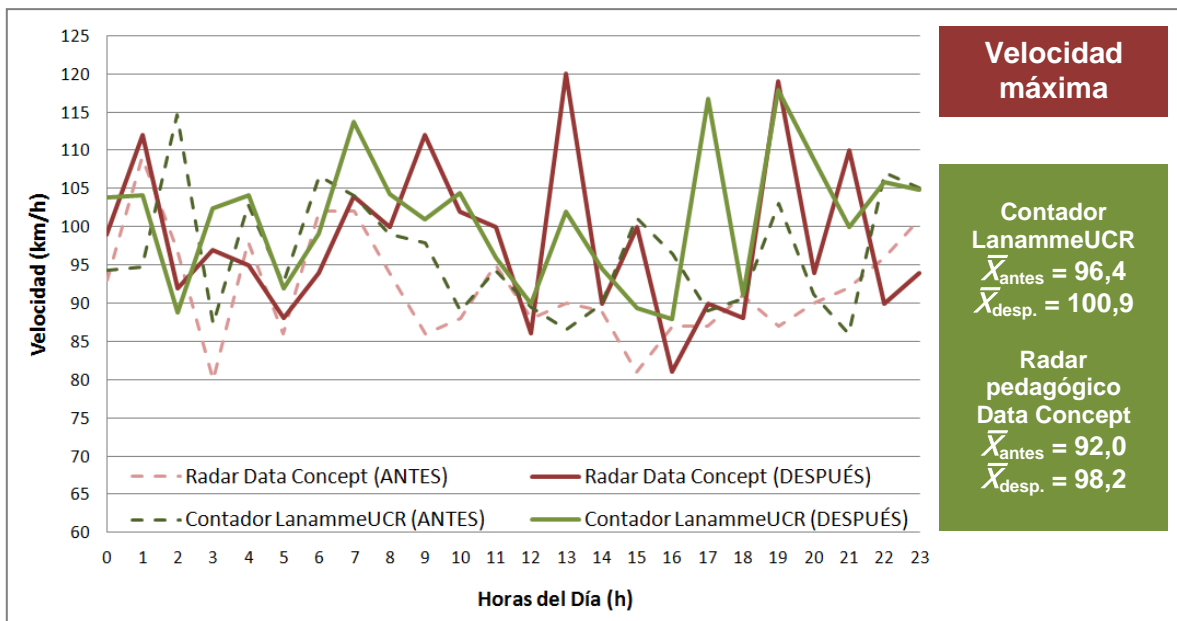


Figura 11. Perfil de velocidades medias del radar pedagógico y del contador neumático antes y después de la activación del radar



Sobre las velocidades de operación (contador neumático)

En el caso de las velocidades de operación, el radar pedagógico no brinda esta información; sin embargo, se cuenta con los datos del contador neumático, así como el análisis de los perfiles de velocidades a partir de los datos tomados con el radar manual. En este caso sí es posible calcular la velocidad de operación de los vehículos, como lo muestra la Figura 12, debido a que la información se obtiene por vehículo y no por grupo de vehículos como ocurre con el radar pedagógico.

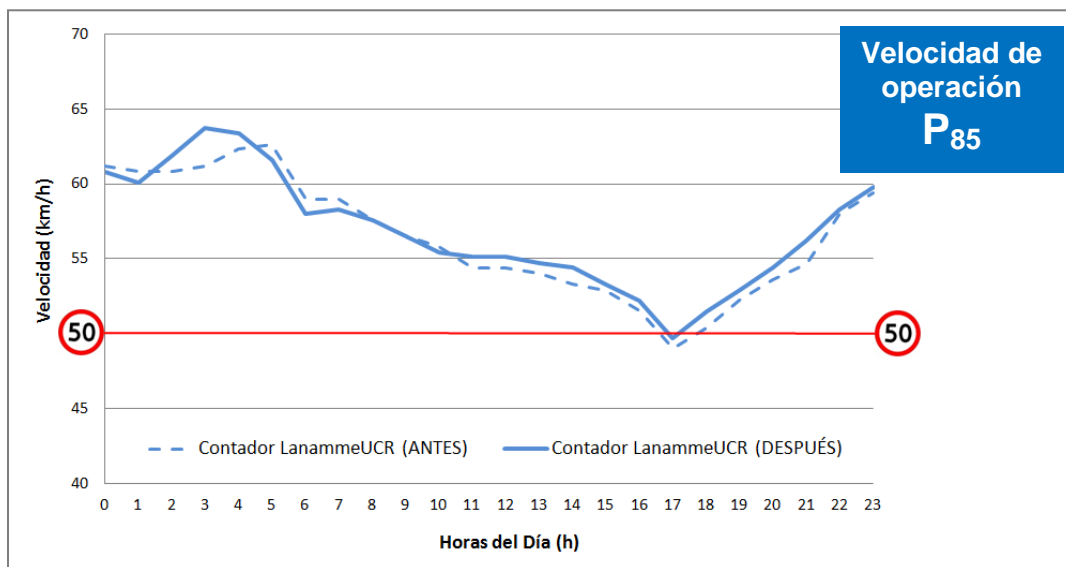


Figura 12. Velocidad de operación de los vehículos antes y después de la activación del radar pedagógico medida con el contador neumático

A partir de estos datos "antes" y "después", no se observa ni una disminución ni un aumento significativo en las velocidades de los vehículos. Como es de esperarse, las velocidades más bajas se registran en las horas de mayor tránsito vehicular, principalmente entre las 4 y 6 p.m. Además, es importante notar que solo las velocidades de las 5 p.m. concuerdan con el límite de velocidad reglamentario; sin embargo, las velocidades de operación (calculadas) no sobrepasan los 64 km/h, lo cual se observa a las 3 a.m. aproximadamente.



Sobre las velocidades de operación (radar manual)

Otro de los dispositivos y métodos utilizados para la medición de velocidades es el radar manual, como se ha visto en secciones previas. Con el radar manual no únicamente se analizan los cambios de velocidades en el sitio donde se colocó el radar pedagógico, sino que se puede hacer todo un perfil de velocidades en una distancia de aproximadamente 600 metros, tal como previamente se explicó.

En el Cuadro 1 se presenta una serie de parámetros estadísticos que permiten caracterizar las mediciones de cada punto en estudio con el radar manual. Al presentar el detalle tanto para las mediciones de antes de la activación del radar pedagógico como para las del tiempo posterior, se puede evidenciar el cambio en el registro de las velocidades por medio de los parámetros estadísticos mencionados. Con base en estos resultados finales es que se realiza el análisis del impacto de la incorporación del radar pedagógico con la prueba estadística *t*-Student, para el cálculo de diferencias de velocidades.

Cuadro 1. Resumen de los resultados del radar manual antes y después de activar el radar pedagógico en modo normal

Radar manual (velocidades en km/h)									
Tipo de muestra	ANTES de la activación del radar						DESPUÉS de la activación del radar		
Punto de medición	Plaza Roosevelt			Radar Pedagógico				Radar Pedagógico	
	1	2	3	4	5	6	3	4	5
Tamaño de muestra	25	30	30	30	30	23	30	30	30
Promedio	42	47	52	52	48	42	47	49	45
Percentil 85	49	53	58	57	52	45	52	55	51
Máximo	52	62	65	82	63	53	56	69	63
Mínimo	31	35	42	40	38	33	37	36	36
Desviación estándar	5,77	6,21	5,97	9,02	5,14	4,13	4,71	6,71	6,06



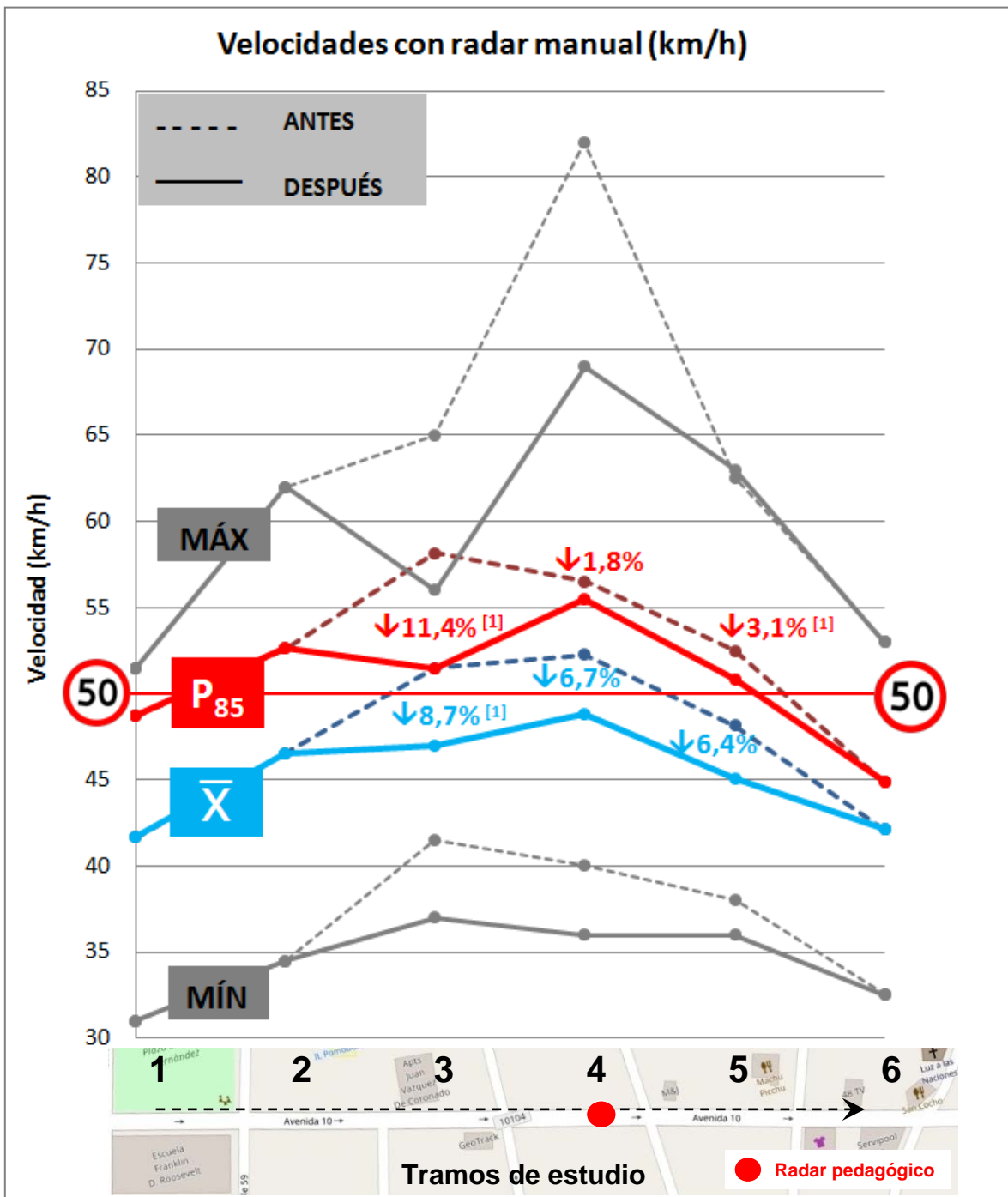
En cuanto a las desviaciones estándar mostradas en el Cuadro 1, es importante señalar que en las mediciones "antes", la máxima desviación estándar se presentó en la cuadra 4, en el sitio donde se colocó el radar pedagógico, con un valor de 9,02 km/h. En el caso del periodo "después", la máxima desviación estándar se presenta también en la cuadra 4, pero con un valor de 6,71 km/h. De todas las mediciones con el radar manual, 4,13 fue la menor desviación estándar calculada.

En la Figura 13 se presentan los perfiles de velocidad para comparar en detalle los resultados de velocidades medias, de operación, máximas y mínimas, antes y después de la instalación del radar pedagógico en modo normal.

En la parte inferior del gráfico se observa el croquis de las diferentes cuadras que componen la zona de estudio, desde la Plaza Roosevelt hasta la intersección con calle 69, dos cuadras después de la instalación del radar pedagógico. Las líneas punteadas muestran las velocidades "antes" y las líneas sólidas las velocidades "después". Además, se calcularon los porcentajes de disminución de velocidad para las cuadras 3, 4 y 5 (la cuadra donde instaló el radar pedagógico, una cuadra antes y otra después); esto para las velocidades medias y de operación.

Las diferencias antes y después fueron sometidas a un análisis estadístico para determinar si las diferencias son consideradas estadísticamente significativas o no. En el caso de las velocidades medias, solo la disminución de 8,7 % en la cuadra 3 resultó significativa. En el caso de las velocidades de operación, resultaron estadísticamente las disminuciones de velocidad en las cuadras 3 y 5, de 11,4 % y 3,1 %, respectivamente.

Es importante notar que en todas las velocidades medidas con el radar manual, tanto las máximas, las mínimas, las de operación y las velocidades medias fueron mayores antes de la instalación del radar pedagógico y, por ende, velocidades más bajas después de la instalación del radar pedagógico.



[1] Reducciones estadísticamente significativas a un 95% de confianza. (ver Cuadro A1, Anexo)

Figura 13. Comparación de la velocidad media antes y después de la activación del radar usando el radar manual



7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para el cumplimiento de los objetivos planteados en este proyecto, se analizaron los resultados comparando diferentes equipos y métodos de medición, con el propósito de determinar el impacto que genera la colocación de un radar pedagógico en una vía urbana de bajo tránsito, como medida de seguridad vial de tráfico calmado.

Primero se mostraron los resultados comparativos de los flujos vehiculares, a partir de los datos del radar pedagógico de la empresa Data Concept y del contador neumático del LanammeUCR, lo cual corresponde a los dos primeros objetivos específicos.

Con los datos del contador neumático se pudo estimar el TPD en 10 613 vehículos por día en ese tramo de vía, en promedio para todo el periodo de estudio. En cuanto al radar pedagógico, el valor estimado fue de 9 912 vehículos por día. Separando la condición "antes" y "después" de la activación del radar pedagógico en modo normal, el periodo de análisis de "antes" fue de 8 días en que hubo coincidencia de datos de ambos equipos, con una diferencia promedio en los datos de 7,4 %. En el periodo "después" la coincidencia de datos fue de 22 días, con una diferencia promedio de tan solo 5,8 %. En ambos escenarios las diferencias más significativas se perciben en las horas de mayor tránsito, que son las horas pico de la tarde entre 3 y 6 p.m. El hecho de que el radar pedagógico registrara menores flujos vehiculares se puede deber a la precisión del mismo equipo, lo cual es de esperarse que las diferencias sean más significativas conforme más vehículos haya en la vía en un determinado momento. La precisión del contador neumático parece ser más alta debido a que el conteo implica impulsos de aire de los vehículos hacia el contador; mientras que el radar pedagógico maneja una tecnología de ondas y frecuencias.

Informe LM-PI- USVT-002-17	Fecha de emisión: 3 de abril del 2017	Página 31 de 39
----------------------------	---------------------------------------	-----------------



Posteriormente, se detallaron los resultados de las velocidades registradas por los diferentes equipos, tanto velocidades medias, máximas, como de operación. A partir de estos resultados y de los cálculos efectuados para cumplir con los últimos tres objetivos específicos, se llega a una serie de conclusiones:

- Con respecto a las **velocidades medias** comparando los datos del radar pedagógico y del contador neumático, se evidenció una brecha continua entre los datos del contador neumático (velocidades medias más elevadas) y los datos del radar pedagógico (velocidades medias más bajas). Es decir, las curvas no se traslapan en ningún punto.
- Estas diferencias entre las **velocidades medias** entre ambos equipos son altamente significativas: más de un 20 %. Analizando los datos "antes" de la activación del radar pedagógico, este equipo registró en promedio velocidades medias de 11,1 km/h menos que el contador neumático. En el caso de los datos "después", la diferencia fue en promedio de 12,5 km/h. Tal como se comentó en el análisis, no es posible a partir de estos datos determinar cuál de los dos equipos es más preciso en la toma de datos de velocidad, lo cual es una limitación para el análisis y que debería de considerarse su estudio más en detalle en futuros proyectos. En este caso se compararon varios equipos; sin embargo, de haberse utilizado solo uno, se podría estar incurriendo en conclusiones inadecuadas sobre las velocidades medias, e incluso, sobre posibles reducciones de velocidad.
- Siguiendo con las **velocidades medias**, en promedio, considerando el "antes" y el "después", el contador neumático mostró valores respectivamente de 47,5 km/h y 47,7 km/h, con lo cual habría evidencia de que no hubo un cambio en la velocidad elegida por los conductores tras la instalación del radar pedagógico. En el caso de los datos del radar pedagógico, se pasó en promedio de 36,4 km/h a 35,2 km/h,



respectivamente "antes" y "después"; sin embargo, esta diferencia no se considera significativa.

- En el caso de las **velocidades máximas**, hubo una mayor congruencia, en promedio, entre ambos equipos. En los datos de "antes", el contador neumático registró valores máximos en promedio de 96,4 km/h, mientras que el radar pedagógico de 92,0 km/h. En el caso "después", estos valores fueron más altos en ambos casos, de 100,9 km/h y 98,2 km/h, respectivamente para el contador y el radar.
- En cuanto a las **velocidades de operación** calculadas a partir de los datos del contador neumático, se concluye que solo las velocidades cercanas a las 5 p.m. cumplen justo con el límite de velocidad reglamentaria de 50 km/h; sin embargo, los promedios de velocidades de operación no superan en ninguna hora los 64 km/h, lo cual es congruente con el tipo de calle y con la velocidad que más comúnmente eligen los conductores. Además, se comprueba que las velocidades son menores conforme aumenta el flujo de vehículos, lo cual siempre se debe verificar.
- A partir de los datos del radar pedagógico, únicamente se pudieron analizar velocidades medias y máximas, y la empresa Data Concept confirmó que no se pueden conocer las velocidades puntuales de los vehículos con el fin de poder luego calcular las **velocidades de operación** y realizar otros análisis estadísticos.
- Finalmente, se realizaron perfiles de **velocidad de operación y velocidades medias** con mediciones puntuales llevadas a cabo con el **radar manual**. Del último gráfico presentado se logra observar que siempre las velocidades "después" de la instalación del radar pedagógico fueron más bajas que las velocidades "antes" de la medida, lo cual sugiere que puede haber un efecto de reducción de velocidad. Tras un análisis



estadístico de diferencia de velocidades, se encontró una reducción de 8,7 % en la velocidad media en la cuadra 3, antes del sitio del radar pedagógico. En el caso de las velocidades de operación, tanto en la cuadra 3 como en la 5 se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas, de 11,4 % y de 3,1 %, respectivamente.

- También es importante resaltar que las **velocidades de operación** de las cuadras 2, 3, 4 y 5 estuvieron por encima, en promedio, del límite de velocidad reglamentaria de 50 km/h; sin embargo, una vez instalado el radar pedagógico estas diferencias prácticamente se mantienen por debajo de los 55 km/h. Es de esperarse que las velocidades en las cuadras 1 y 6 sean más bajas que en las demás cuadras, incluso por debajo del límite máximo de velocidad permitido, debido a que estas cuadras poseen respectivamente al inicio y al final una intersección semaforizada. Estas intersecciones y la misma dinámica que se da en la escuela Roosevelt (cuadra 1) no permiten desarrollar velocidades mayores en general, aún con el semáforo en verde. En el caso de la cuadra 6, la dinámica en relación con las velocidades escogidas por el conductor depende principalmente de las fases del semáforo y de los vehículos en cola para realizar los diferentes movimientos en la intersección.

Los resultados del radar manual son los únicos que evidencian una reducción de las velocidades de operación producto de la instalación del radar pedagógico; sin embargo, este radar tiene la limitación de que la cantidad de datos es muy limitada y, por lo tanto, podría haber un sesgo a la hora de tomar las mediciones en campo.

Por otra parte, los datos del contador neumático y del mismo radar pedagógico deberían considerarse más confiables en el entendido de que consideran a todos los vehículos que pasan por la zona en un determinado tiempo. Los datos, sin embargo, no muestran una reducción significativa de las velocidades medias, ni

Informe LM-PI- USVT-002-17	Fecha de emisión: 3 de abril del 2017	Página 34 de 39
----------------------------	---------------------------------------	-----------------



tampoco de operación en el caso del contador neumático. No obstante, es importante mencionar que al no presentarse velocidades tan elevadas antes de la instalación del radar pedagógico, es de esperarse que los diferenciales de velocidad no sean muy altos. Podría esperarse que el impacto de un radar pedagógico sea más elevado, en términos de reducción de velocidades, en algún sitio en que haya realmente un problema de altas velocidades.

Finalmente, se debe rescatar fuertemente que las medidas de seguridad vial pueden generar cambios en el comportamiento de los conductores sin que necesariamente esto se vea reflejado en una reducción de la velocidad. Es decir, un conductor podría considerar que su elección de velocidad por encima de la reglamentaria es adecuada y no riesgosa, pero que la medida implementada lo haga estar más atento a la carretera y a su entorno, lo cual podría agudizar sus sentidos si se presentase alguna situación imprevista: cambio en la luz del semáforo, un vehículo estacionado que intenta incorporarse al carril, usuarios vulnerables en la vía tal como ciclistas, motociclistas o peatones, entre muchas otras situaciones que requieran una rápida reacción. Esto quiere decir que no solo una reducción de la velocidad debería justificar la efectividad de una determinada medida de seguridad vial, ya que hay otros impactos que son más difíciles de cuantificar, tal como la atención del conductor, lo que en inglés comúnmente se conoce como *driver's awareness* o *driver's attentiveness*. Para ello, habría que ampliar el alcance e incorporar estudios de comportamiento humano con un enfoque multidisciplinario.

A partir de este análisis de resultados, la principal recomendación es realizar más estudios con el radar pedagógico en diferentes entornos viales en donde se requiera una reducción más significativa de velocidad por parte de los conductores, ya sea por un peligro potencial asociado a la vía (curva peligrosa, intersección adelante, etc.), o alguna condición asociada a los usuarios y al entorno (peatones cruzando la vía, ciclistas, escuelas cercanas, etc.), entre otras

Informe LM-PI- USVT-002-17	Fecha de emisión: 3 de abril del 2017	Página 35 de 39
----------------------------	---------------------------------------	-----------------



justificaciones para la instalación de este tipo de tecnología. Es recomendable ampliar los tiempos de estudio, tanto antes de implementar la medida como después de implementada, para poder medir de mejor forma el comportamiento de los usuarios en términos de reducción de velocidad. Con tiempos de estudio más prolongados se puede detectar si hay un efecto de "novedad" (*novelty effect*, en inglés), lo cual es un efecto común en medidas de seguridad vial de percepción.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- California Department of Transportation. (2000). *An evaluation of dynamic curve warning system in the Sacramento river Canyon*. California.
- Elvik, R., Høy, A., Vaa, T., & Sørensen, M. (2009). *The Handbook of road safety measures*. Bingley: Emerald Group Publishing Limited.
- Fonseca, D. y Zamora, J. (2014). *Demarcación vial como medida de bajo costo para la disminución de la velocidad en carretera*. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Garper, N., & Srinivasan, S. (1998). *Effectiveness of changeable message signs in controlling vehicle speeds in work zones*. Virginia.
- Magaña, J. (2014). *Determinación de patrones típicos de distribución temporal de tránsito en Costa Rica*. San José: Universidad de Costa Rica.
- Mcgee, H., & Fred R, H. (2006). *Low-Cost Treatments for Horizontal Curve Safety*. Washington DC.
- World Road Association. (2004). *Road Safety Manual*. Paris: Route Market.
- Zuñiga, J., & Trejos, J. (2011). *Conteos vehiculares*. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Recuperado de <https://www.yumpu.com/es/document/view/14841620/conteos-vehiculares-mopt>



ANEXO

Cuadro A1. Resultados de la prueba t-Student para las mediciones con el radar manual con una significancia del 95 %

Antes y Después Radar Manual Velocidad Media	
Prueba para punto de medición 3	
Sab	5,375
texp	3,243
tcri	2,002
texp > tcri	Diferencia significativa

Antes y Después Radar Manual Velocidad Operación	
Prueba para punto de medición 3	
Sab	5,375
texp	4,792
tcri	2,002
texp > tcri	Diferencia significativa

Antes y Después Radar Manual Velocidad Media	
Prueba para punto de medición 4	
Sab	7,948
texp	1,705
tcri	2,002
texp > tcri	No hay diferencia significativa

Antes y Después Radar Manual Velocidad Operación	
Prueba para punto de medición 4	
Sab	7,948
texp	0,499
tcri	2,002
texp > tcri	No hay diferencia significativa

Antes y Después Radar Manual Velocidad Media	
Prueba para punto de medición 5	
Sab	5,617
texp	2,115
tcri	2,002
texp > tcri	Diferencia significativa

Antes y Después Radar Manual Velocidad Operación	
Prueba para punto de medición 5	
Sab	5,617
texp	1,138
tcri	2,002
texp > tcri	No hay diferencia significativa



Cuadro A2. Resultados de la prueba t-Student para las mediciones con el contador neumático con una significancia del 95 %

Prueba t-Student									
Hora	n_1	n_2	s_1	s_2	s_{ab}	t_{exp}	g.l.	t_{cr}	Significancia del 95 %
0	1936	2007	10,78	11,51	11,16	0,28	3941	1,96	No hay diferencia significativa
1	1032	1104	11,31	11,51	11,41	1,42	2134	1,96	No hay diferencia significativa
2	811	848	11,53	11,59	11,56	0,35	1657	1,96	No hay diferencia significativa
3	573	563	11,21	13,16	12,21	1,10	1134	1,96	No hay diferencia significativa
4	533	471	12,63	12,88	12,75	0,12	1002	1,96	No hay diferencia significativa
5	1744	1614	11,05	11,52	11,28	4,11	3356	1,96	Diferencia significativa
6	6106	5849	9,33	9,53	9,43	7,54	11953	1,96	Diferencia significativa
7	8792	8490	9,33	9,43	9,38	8,41	17280	1,96	Diferencia significativa
8	9179	9368	9,61	9,34	9,48	4,31	18545	1,96	Diferencia significativa
9	10186	10015	9,19	9,16	9,18	1,55	20199	1,96	No hay diferencia significativa
10	11686	11732	9,14	8,90	9,02	0,85	23416	1,96	No hay diferencia significativa
11	13928	13222	8,66	8,83	8,74	3,77	27148	1,96	Diferencia significativa
12	15642	14602	8,33	8,59	8,46	5,14	30242	1,96	Diferencia significativa
13	15554	14231	8,35	8,62	8,48	7,12	29783	1,96	Diferencia significativa
14	16190	14180	8,41	8,67	8,53	7,13	30368	1,96	Diferencia significativa
15	17385	16854	8,15	8,27	8,21	2,25	34237	1,96	Diferencia significativa
16	20383	20709	8,47	8,46	8,46	8,38	41090	1,96	Diferencia significativa
17	20913	21610	9,74	9,96	9,85	8,37	42521	1,96	Diferencia significativa
18	18117	18837	8,75	8,05	8,40	19,45	36952	1,96	Diferencia significativa
19	14620	15012	7,94	7,91	7,92	7,60	29630	1,96	Diferencia significativa
20	12147	11473	8,35	8,73	8,54	5,40	23618	1,96	Diferencia significativa
21	9201	8065	8,69	9,15	8,91	7,36	17264	1,96	Diferencia significativa
22	5808	5543	9,62	9,84	9,73	1,64	11349	1,96	No hay diferencia significativa
23	3157	3567	10,44	10,15	10,29	1,99	6722	1,96	Diferencia significativa