

# **Empleo de Imágenes de Video para Conteos Automáticos de Vehículos en Intersecciones**

**Nelson R. Gómez-Torres**

Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, Puerto Rico, nrgomez@gmail.com

**Didier M. Valdés-Díaz**

Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, Puerto Rico, dvaldes@uprm.edu

## **RESUMEN**

Este artículo presenta los resultados de un estudio realizado en Mayagüez, Puerto Rico, para determinar qué equipo trabaja mejor en la toma de datos de volumen vehicular en intersecciones, sin interrumpir el flujo normal del tráfico. Luego de estudiar la literatura se determinó que la tecnología más prometedora es la de detección de vehículos utilizando imágenes de video. Se probó dicha tecnología (Autoscope®) en intersecciones con distintas composiciones en términos de: número de carriles, exclusividad de movimientos y lugares de instalación de cámaras. El sistema demostró ser ineficaz cuando se usa un carril para dos o más movimientos, resultando con errores de hasta 58.6%. Además la vibración del sitio de instalación de la cámara, los grupos de peatones y la población de aves afectan adversamente la operación. Sin embargo, si los movimientos de viraje en las intersecciones se realizan en carriles exclusivos, la diferencia entre los volúmenes contados por el equipo y los volúmenes reales tienen un error por debajo del 8%.

**Palabras clave:** Conteo vehicular, Video, Intersecciones

## **ABSTRACT**

This paper presents the results of a study conducted in Mayagüez, Puerto Rico, to determine which non-intrusive equipment of automatic vehicle detection is better for counting vehicles at intersections. According to our literature review, the most promising is the technology that uses video images to detect vehicles. The video technology (Autoscope®) was tested on intersections with different compositions in terms of: number of lanes, movement distribution and the position of the cameras. The vibration at the installation point, groups of pedestrians and bird population affect the operation adversely. If a lane is used by two or more movements, the system proves to be ineffective with errors up to 58.6%. If the movements in the intersections are made from exclusive lanes, the error is less than 8%.

**Keywords:** Vehicular Counts, Video, Intersections

## **1. INTRODUCCION**

En Puerto Rico los métodos de recolección de datos en intersecciones, tales como volumen de tráfico, longitudes de cola y demoras, se realizan de manera manual. Este método no resulta eficiente debido a los recursos usados en términos de cantidad de personal, tiempo extensivo para poder realizar conteos manuales y cálculo de parámetros. En la actualidad existen diversas tecnologías que permiten realizar dichos conteos de forma más eficiente (Minnesota DOT, 2001).

Con el propósito de mejorar la calidad de estudios en conteos vehiculares existentes, se evaluó la tecnología de detección de vehículos a través de imágenes de video. Esta investigación fue realizada con el apoyo de la Autoridad de Carreteras y Transportación de Puerto Rico por su continuo interés en mejorar y actualizar los métodos utilizados en el campo. Las pruebas consisten en analizar conteos en intersecciones semaforizadas. Como área de observación se utilizaron intersecciones en los municipios de Mayagüez y Cabo Rojo.

En este artículo se presentan los resultados de la investigación que se realizó acerca de las metodologías no intrusivas existentes y los respectivos equipos necesarios para obtener datos de tránsito en intersecciones. También se presenta la evaluación de las condiciones bajo las cuales operan dichos equipos y se incluyen los factores que pueden afectar la implantación de éstos en los sistemas de transportación en Puerto Rico.

El propósito principal de este estudio es determinar si el uso de la tecnología de detección de vehículos a través de imágenes de video es la más apropiada en Puerto Rico. Como ejemplo de esa tecnología se escogieron los equipos Autoscope ® de Image Sensing System. A dicha tecnología se le hizo una serie de pruebas de campo en el área oeste de la Isla. Las pruebas consisten en evaluar las ventajas y limitaciones de la tecnología seleccionada, además de realizar recomendaciones al respecto.

## **OBJETIVOS**

El propósito principal del estudio es recomendar una tecnología eficiente para realizar conteos automáticos en intersecciones. Los siguientes objetivos específicos se establecieron para lograr el propósito principal:

- Revisar la literatura en búsqueda de las diferentes tecnologías y equipos que se pueden utilizar para la toma de datos en intersecciones, en forma automática.
- Revisar en la literatura la eficacia de cada tecnología bajo diferentes condiciones.
- Seleccionar una de las tecnologías evaluadas para realizar pruebas.
- Determinar la eficiencia del sistema escogido.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El monitoreo de los volúmenes de tráfico es el elemento básico que utilizan las agencias a cargo de los sistemas de transporte, para estudiar el tráfico en intersecciones. Estos estudios son vitales para determinar las operaciones de tráfico y cambios tanto en la geometría de las intersecciones como en los sistemas de control. Además, el conocimiento de las características del flujo vehicular y peatonal en un área sirve como indicador general de la condición económica del lugar. A mayor movilidad de las personas, mayor es la vitalidad económica del área.

Por ejemplo, en Puerto Rico la toma de datos en intersecciones típicamente se realiza de manera manual. Otro método usado con menos frecuencia son los tubos de presión neumáticos los cuales contabilizan el número de ejes que pasan por una sección de vía. Ambos métodos de toma de datos presentan los siguientes problemas:

- Seguridad. En intersecciones principales con alto flujo vehicular durante las 24 horas del día, instalar equipo de conteo como los tubos de presión no es seguro. En cuanto a los conteos manuales el personal está expuesto al tráfico del lugar (accidentes tipo automóvil-peatón) y a problemas de criminalidad dependiendo del área (Roess et al., 1998)
- Costos. Por lo general, el costo de conteos manuales es alto debido a que incluye el pago de dietas, transportación y horas extras del personal envuelto. Los tubos de presión son una manera eficiente de realizar conteos cortos, pero su instalación permanente es muy costosa.
- Interrupciones de tráfico. La instalación de tubos de presión conlleva el cierre parcial o total del área para garantizar la seguridad de las personas que los instalan.
- Geometría. El conteo de vehículos en intersecciones tiene un mayor grado de dificultad que los conteos en segmentos longitudinales de carretera, debido a la confluencia en el área común de la intersección de movimientos (izquierda y derecha) procedentes de los accesos de la intersección. La tarea puede complicarse cuando existen múltiples carriles ya que la instalación de tubos neumáticos en todos los carriles resulta muy costosa (Polk, 1996). De igual manera, los conteos manuales en intersecciones con múltiples carriles requieren una cantidad mayor de personal y mayor tiempo de preparación para el mismo.
- Condiciones climatológicas. Varios factores climatológicos, tales como lluvia; viento y altas temperaturas, ponen en riesgo al personal que realiza conteos manuales. La lluvia también puede afectar los tubos de presión ya que los mismos no se pueden instalar mientras el pavimento está mojado (Texas Transportation Institute, 2003)

Por tales razones es mucho más conveniente utilizar un equipo de toma de datos que sustituya los conteos manuales. Se han desarrollado varias tecnologías que no interrumpen el flujo vehicular y sustituyen los conteos manuales. Además, los equipos necesarios para realizar las mediciones se pueden instalar de una manera segura. En la próxima sección se presentan este tipo de tecnologías. Luego se describe la metodología utilizada en este estudio. Además se indica porqué se seleccionó Autoscope® para realizar pruebas y como fueron diseñadas las mismas. Finalmente se proveen una serie de conclusiones y recomendaciones.

## **2. TECNOLOGÍAS PARA CONTEOS AUTOMÁTICOS EN INTERSECCIONES**

Entre las tecnologías identificadas y analizadas en este estudio se incluyen, los equipos infrarrojo pasivo y activo, detectores magnéticos, radares microondas y Doppler, sensores acústicos pasivos, ultrasonido y equipo de video. Cada una de estas tecnologías es útil para realizar estudios de tráfico. Sin embargo, ninguna de estas tecnologías se ha utilizado a gran escala para sustituir los métodos tradicionales de recolección de datos de tráfico.

Los equipos mencionados, excepto los detectores ultrasónicos y sensores acústicos pasivos, utilizan energía electromagnética para detectar la presencia de un vehículo. Los equipos de video utilizan longitudes mínimas de ondas electromagnéticas, seguido por infrarrojo activo, infrarrojo pasivo, microonda y por último los detectores magnéticos, los cuales utilizan la mayor longitud de onda entre todos estos equipos. A continuación se discute cómo se seleccionó la tecnología a estudiarse.

## **3. SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA NO INTRUSIVA**

Con la intención de seleccionar la tecnología a ser investigada en mayor detalle, se evaluaron las opciones existentes. Entre estas se encuentran Detectores Magnéticos, Infrarrojos, Microonda, Imágenes a través de Video y Detectores de Sonido y Ultrasónico. Para la selección de la tecnología no intrusiva se evaluaron varios estudios realizados por varios Departamentos de Transportación de los Estados Unidos (DOT). Se recopiló información y se evaluaron las características de cada una de estas tecnologías. Además se utilizó información proveniente de la encuesta realizada a los DOT donde se observaron las experiencias de estos con las tecnologías no intrusivas.

Como parte de la búsqueda de información se utilizaron los estudios realizados por la Federal Highway Administration en la cual se evaluaron las diferentes tecnologías existentes en el mercado. Este estudio se realizó en cooperación con el Minnesota Department of Transportation (FHWA, 1997) y tuvo como propósito proveer información sobre la precisión de las tecnologías no intrusivas. Luego de recopilar información y evaluar las encuestas realizadas se seleccionaron los detectores de vehículos a través de imágenes de video. La tecnología por video se encuentra entre las más innovadoras en el mercado. Ésta tecnología resultó ser el método más efectivo para realizar conteos de vehículos en intersecciones. Al compararla con las tecnologías existentes brinda mayor seguridad al personal de instalación y es más sencilla.

Entre las tecnologías de detección por video sobresalen Autoscope® 2004 y Video Trak-900®. Según el mismo informe, estudiando el comportamiento de los equipos bajo diferentes condiciones ambientales parece ser que el mejor equipo es Autoscope® (vs. Video Track – 900®) debido que resultó más eficaz en más situaciones.

De la línea Autoscope® se seleccionaron los equipos SoloPro y Rack Vision. El equipo SoloPro se caracteriza por incluir cámara y equipo. Por el contrario, el equipo Rack Vision solo incluye el equipo y puede ser utilizado con cualquier sistema de recolección de video compatible.

## **4. SELECCIÓN DE INTERSECCIONES**

Para llevar a cabo el estudio, se seleccionaron varias intersecciones con el fin de tener en cuenta su diversidad. Debido a que el diseño y la geometría de una intersección se basan principalmente en los virajes hacia diferentes accesos, se determinó efectuar estudios en varias intersecciones, para así determinar la eficacia del equipo en diferentes situaciones. Además de los movimientos exclusivos (o no), se consideran otros factores, para así aumentar la diversidad entre intersecciones. Entre estos factores se encuentran el tráfico de vehículos livianos o pesados, diferentes velocidades de operación, congestión del tráfico en horas pico, flujo peatonal y

estacionamiento lateral. Al seleccionar la localización del equipo se consideraron las características de las estructuras adyacentes a las intersecciones que pudiesen ser utilizadas para la instalación del equipo y en particular la viabilidad para recolectar información visual. Las intersecciones donde se realizaron los estudios se describen en las próximas secciones.

### INTERSECCIÓN CALLE MARTÍNEZ NADAL CON CALLE MÉNDEZ VIGO

La Figura 1 presenta un esquema de la vista en planta de esta intersección. Las características de esta intersección son: (1) estacionamiento lateral ambos lados sobre la Calle Méndez Vigo, (2) carriles compartidos, (3) interacción moderada con peatones, (4) semaforizada, (5) tráfico liviano y (6) area urbana

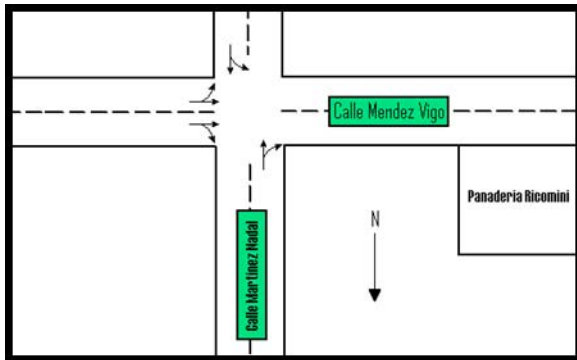


Figura 1 Int. Martínez con Méndez

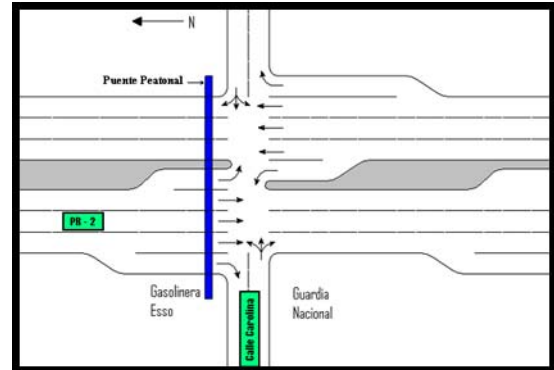


Figura 2 Int. PR-2 con Carolina

### INTERSECCIÓN CARRETERA PR-2 CON CALLE CAROLINA

La Figura 2 presenta un esquema de la vista en planta de esta intersección. Algunas características de esta intersección son: (1) carriles de funcionamiento compartido y exclusivo, (2) tráfico liviano y pesado, (3) intersección semaforizada, (4) interacción con peatones y (5) zona Urbana.

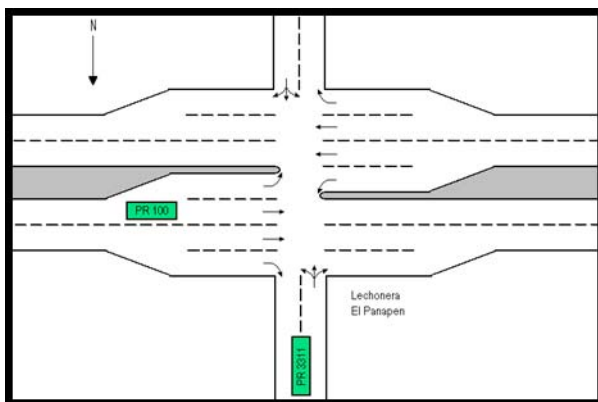


Figura 3 Int. PR-100 con PR-3311

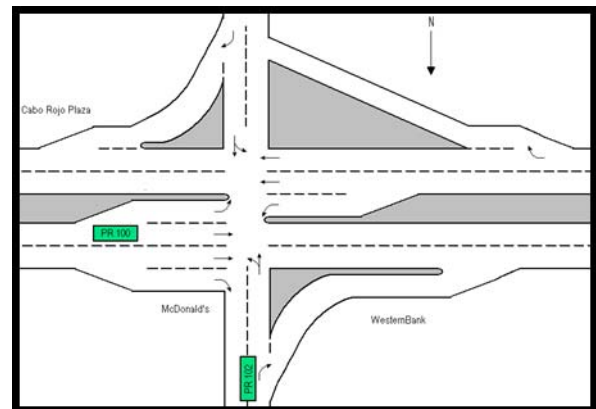


Figura 4 Int. PR-100 con PR-102

### INTERSECCIÓN CARRETERA PR-100 CON CARRETERA PR-3311.

La Figura 3 presenta un esquema de la vista en planta de esta intersección. Algunas características de esta intersección son: (1) carriles de funcionamiento exclusivo, (2) tráfico liviano y pesado, (3) intersección semaforizada y (4) zona rural.

## **INTERSECCIÓN CARRETERA PR-100 CON CARRETERA PR-102**

La Figura 4 presenta un esquema de la vista en planta de esta intersección. Algunas características de esta intersección son: (1) carriles de funcionamiento exclusivo, (2) tráfico liviano y pesado, (3) intersección semaforizada y (4) zona suburbana.

### **5. PRUEBAS DE LOS EQUIPOS**

Para poder evaluar el funcionamiento del equipo se realizaron pruebas de campo. Estas pruebas consistieron en instalar el equipo Autoscope® y programar los detectores. Luego se procedió a realizar conteos manuales en períodos de 5 minutos sincronizados con el equipo. Algunas pruebas en el campo fueron grabadas para realizar los conteos manuales en el laboratorio. Estos fueron hechos por personal adiestrado y bajo supervisión para asegurar un conteo manual preciso. Se compararon los datos de Autoscope® con los conteos manuales. Además se realizaron curvas de frecuencia y frecuencia acumulada para observar si existía cancelación de errores en las pruebas. Para tener una idea de la efectividad del equipo se calculó el porcentaje de error por Arco y por Acceso, donde el primero es el error considerando solamente el total de vehículos que pasan por el arco, mientras que el segundo (por acceso) es el promedio pesado de los errores por movimiento.

#### **PRUEBA EN CASCO URBANO DE MAYAGÜEZ**

Se hizo una primera prueba con el propósito de relacionarse con el equipo Autoscope®. El área de estudio fue la intersección Calle Martínez Nadal con Calle Méndez Vigo. El equipo se instaló en el edificio del Antiguo Teatro Riera. La ubicación de la cámara se llevó a cabo en la azotea del edificio de tres pisos. Esto con el propósito de tener una buena ubicación.

La prueba se realizó durante el período de 7:00 AM a 2:00 PM. El tiempo de instalación fue de aproximadamente cuarenta y cinco (45) minutos. Este tiempo no incluye la programación de los detectores. Durante la primera hora se seleccionaron diferentes arreglos de detectores, con el propósito de obtener un mejor conteo.

La colocación de detectores correctamente se hizo difícil debido al errático comportamiento de los conductores. Este comportamiento obedece al uso inadecuado del carril disponible. Este es un carril ancho y los automovilistas lo utilizan formando doble línea. Por otro lado, el tránsito de camiones hacía virajes amplios, lo que ocasionaba múltiples detecciones aunque fuese un solo vehículo.

Otro factor que influyó negativamente en los conteos vehiculares fue la presencia de peatones. En la mayoría de los casos estos fueron detectados como si fuesen vehículos. También hubo problemas con las aves que volaban por el lugar. Estas activaban los detectores cada vez que atravesaban el área de observación. A través de esta prueba, el equipo de investigadores se familiarizó con el equipo Autoscope®. Además se identificaron posibles causas de error en los resultados.

Al analizar los resultados obtenidos se encontró un porcentaje de error en los movimientos directos de 55.09%. En movimientos a la derecha se obtuvo un porcentaje de error de 41.38%. Para los movimientos de viraje a la izquierda se encontró un porcentaje de error de 104.17%. En esta prueba se obtuvo un porcentaje de error por arco de 47.73% y un porcentaje de error por acceso de 58.64%.

Estos resultados pueden haber sido causados por las limitaciones de estructuras adyacentes al momento de instalar el equipo. Entre estas se encuentran la altura de las estructuras, cercanía a la intersección y disponibilidad de las mismas. También se incluye el diseño de la intersección, lo que provoca virajes anchos por el tránsito pesado. Esto provoca inconvenientes al momento de programar los detectores. Entre otras fuentes de error se encuentran los peatones y las aves, los cuales fueron identificados como vehículos, aumentando considerablemente el error.

#### **PRUEBA EN ARTERIA PRINCIPAL EN ZONA URBANA**

Con el propósito de probar la eficiencia de las cámaras en intersecciones con carriles exclusivos de movimiento se seleccionó la intersección de la PR-2 con calle Carolina en Mayagüez. Uno de los principales motivos para seleccionar esta intersección fue la cercanía a un puente peatonal, el cual podía ser utilizado para instalar el equipo

de video de frente a la corriente vehicular. Luego solicitar los permisos requeridos a la oficina de Obras Públicas Estatal y obtener una fuente de electricidad, se procedió a realizar la prueba. El tiempo de instalación fue de aproximadamente dos (2) horas. Este tiempo incluye algunos inconvenientes surgidos con el sistema eléctrico en el puente peatonal, los cuales fueron resueltos para realizar el estudio. La intersección escogida para la investigación consiste de tres carriles directos, un carril exclusivo de viraje a la izquierda y un paseo utilizado como viraje a la derecha. Aunque existe esta distribución en el acceso, algunos vehículos giran a la derecha desde uno de los carriles de movimiento directo, lo cual complica la toma de datos.

## PARTE I

En esta primera prueba fue complicado encontrar una posición adecuada para la instalación de la cámara debido a la obstrucción ocasionada por un semáforo aledaño. Luego de colocar los detectores de la mejor manera posible, no se pudo evitar la activación de los detectores asignados al viraje a la derecha por los camiones. Tomando en cuenta esta limitación, solo se realizaron las observaciones de movimientos directos y virajes a la izquierda.

Los errores en los conteos están dentro de un rango de 1.36% y 16.44%. El porcentaje de error en el movimiento directo es de 1.36%, el cual es aceptable. En el movimiento a la izquierda el resultado fue de 16.44%, mayor valor que para el movimiento directo. Los virajes a la derecha se obviaron debido a las limitaciones encontradas durante la instalación. El porcentaje de error por arco fue de 0.87% y por acceso de 1.78%.

Los resultados obtenidos anteriormente son causados por diferentes fuentes de error. Entre estas razones se encuentran los malos hábitos de los choferes, por ejemplo: virajes desde carriles no permitidos, y movimientos ilegales y peligrosos. Otra posible fuente de error puede ser el ángulo de ubicación de la cámara. Esto causaba la activación de detectores aledaños al carril por los camiones.

Debido a la hora del día en que se realizó el conteo, se observó que las sombras producidas por automóviles, camiones y árboles afectaban negativamente el conteo vehicular. Este problema puede ser corregido al mejorar la programación de los detectores.

## PARTE II

En la parte II de la prueba se reubicó la cámara en el puente peatonal. Esta acción evitó la activación de detectores del viraje a la derecha por los camiones. Al mejorar el área de observación se pudieron monitorear los virajes a la derecha. Estas observaciones se realizaron durante el período de una hora de 11:50 AM a 12:50 PM, en intervalos de cinco (5) minutos.

Al analizar los datos obtenidos se encontró un porcentaje de error en los movimientos directos de 0.15%. En los movimientos a la derecha se obtuvo un porcentaje de 41.47%. Para los movimientos de viraje a la izquierda el porcentaje de error fue de 16.76%. Al analizar los datos se encontró un error por arco de 2.30% y un error por acceso de 2.30%. Estos resultados pueden haber sido causado por diversas razones. Entre estas se encuentran los malos hábitos de los choferes, por ejemplo: virajes desde carriles no permitidos y movimientos ilegales y peligrosos. Otras fuentes de error son las limitaciones de las estructuras al instalar el equipo. Esto provoca inconvenientes al momento de programar los detectores.

Una peculiaridad que se pudo observar fue que durante el período de prueba el detector de virajes a la izquierda dejó de contar vehículos. Este inconveniente provocó un mal funcionamiento del sistema.

Al relocalizar y reprogramar el equipo, los errores ocurridos en la primera parte se redujeron considerablemente. A pesar de esta mejoría, se presentaron situaciones adicionales que pudieron ser fuentes de error. Por ejemplo, en la tarde la velocidad del viento causó mayor vibración que en la primera prueba, esto influye en que haya mayor movimiento de la imagen y dificultad para mantener el detector en un carril fijo. Además, la cantidad de personas utilizando el puente peatonal, contribuyó en el aumento de la vibración. Estos factores pueden haber influido en los errores que se presentan y por lo tanto, en los porcentajes de error mencionados anteriormente.

## PRUEBA EN ZONA RURAL

Esta prueba se realizó en la carretera PR-100 intersección con la PR-3311. La carretera PR-100 es de 4 carriles (2 por dirección) con carriles exclusivos para virajes a la izquierda y a la derecha. Típicamente se recomienda que la cámara este ubicada lo más alto posible y en el centro de la carretera para tener una mejor imagen que capture en forma adecuada todas las maniobras. Al tomar en consideración las estructuras existentes, la ubicación seleccionada fue un poste de alumbrado.

Para instalar la cámara encima de un poste de alumbrado es necesario utilizar un camión con grúa y canastilla, que alcance por lo menos una altura de 36 pies. La brigada de instalación debe estar compuesta por un mínimo de dos personas. Para instalar la cámara se utilizan abrazaderas de metal y se asegura el cable de la cámara al poste con abrazaderas de plástico. La instalación toma alrededor de cuarenta y cinco (45) minutos con personal adiestrado. La colocación de la cámara sobre el poste de alumbrado la realiza una sola persona, por razones de espacio (solo cabe una persona en la canastilla). La Figura 5 muestra como se ve la cámara instalada.

En la Figura 6 se muestra la imagen obtenida de Autoscope ®; en la parte superior de la imagen se pueden ver los detectores. Debajo de estos se puede ver la caja de las funciones ( $f(x)$ ) y luego otra caja que es la estación de detectores (*Detector Station*). En la parte inferior se ve la fecha y hora de la prueba junto con un marcador que muestra la localización. En esta prueba se decidió colocar la cámara detrás de los vehículos. El motivo principal fue que la intersección se encuentra en una pendiente descendente y este punto nos daba una mayor altura.



Figura 5 Cámara instalada en Poste



Figura 6 Imagen y detectores de Autoscope

Los errores en esta prueba fueron causados por vehículos que cambiaban de un carril a otro dentro de la intersección. Esto ocasionaba que los carros no fueran contados por el equipo. Además otro de los errores se presentó debido a que algunos vehículos utilizaron el carril de virajes a la derecha para continuar directo. Otros vehículos que se encontraban muy cerca al vehículo del frente provocaban que el equipo no los detectara correctamente. No obstante, a pesar de que hubo un lapso de lluvia los errores no se incrementaron de una manera sustancial. Durante la lluvia el error más común era que contara dos vehículos como uno, porque el agua que salpicaba de las gomas de atrás de un vehículo extendía el tiempo de detección. A veces el vehículo siguiente entraba a la zona de detección sin que se hubiese apagado el detector del vehículo anterior debido a la huella dejada por el agua lo que no permite que se cuente el segundo vehículo.

Al analizar los datos obtenidos se calculó el porcentaje de error en los movimientos de izquierda, directo y derecha. Para los movimientos directos se obtuvo un por ciento de error de 5.40%. En movimientos a la derecha e izquierda se obtuvo un porcentaje de 8.33% y 12.33% respectivamente. Además se encontró un error por arco de 4.29% y un error por acceso de 5.76%.

## PRUEBA EN ZONA SUBURBANA

Esta prueba se realizó en la intersección de la carretera PR-100 con la PR-102 en Cabo Rojo. Esta intersección está compuesta por dos carriles de movimiento directo, un carril de virajes a la izquierda y un carril de virajes a la derecha. El viraje a la derecha tiene una canalización (isleta) que asegura su uso exclusivo. En esta prueba la cámara se colocó en un poste de alumbrado.

En la Figura 7 se muestra la imagen obtenida del sistema Autoscope ®. En la parte superior izquierda de la imagen se pueden observar los detectores de virajes a la derecha y una pequeña parte de su carril exclusivo. En el centro se localizan los detectores de movimientos directos y de virajes a la izquierda. Estos detectores han sido programados utilizando funciones, las cuales se muestran en la parte inferior junto a las estaciones de detección (*Detector Stations*). En la parte central inferior se encuentran la fecha, hora de estudio y localización.



**Figura 7 Imagen y detectores de Autoscope ® en la Int. de la PR-100 con PR-102.**

#### PRUEBA EN EL CAMPO

En los movimientos a la izquierda y derecha se obtuvo un error de 23.99% y 2.89% respectivamente. En movimientos directos el por ciento de error obtenido fue de 12.87%. Al analizar los datos de forma general se obtuvo un error por arco y por acceso de 13.45%.

Los errores obtenidos en la prueba realizada en el campo fueron provocados por coincidencias de vibración, localización de detectores y de vehículos. Esto es producido por la propagación de vibraciones, las cuales son generadas por el tránsito en la zona. Estas causan movimientos fuertes al poste utilizado, lo cual produce sacudidas no deseadas. Al moverse la cámara pudo contar un mismo vehículo más de treinta (30) veces. Esto ocurre cuando los vehículos están detenidos en la intersección y la cámara comienza a vibrar. El efecto se puede observar cuando los vehículos se detienen durante la luz roja y los detectores están colocados en el borde delantero del carro. En este instante, si la cámara comienza a vibrar el vehículo marcará y dejará de marcar el contador muchas veces.

#### PRUEBA EN EL LABORATORIO

Luego de analizar los resultados de la prueba en el campo se encontró una diferencia en la cantidad de conteo vehicular mayor a un 10%. Debido a esta situación se decidió repetir la prueba en el Laboratorio de Transportación del Departamento de Ingeniería Civil del Recinto Universitario de Mayagüez. Se utilizó el video obtenido de Autoscope® y se relocalizaron los detectores que confrontaron problemas.

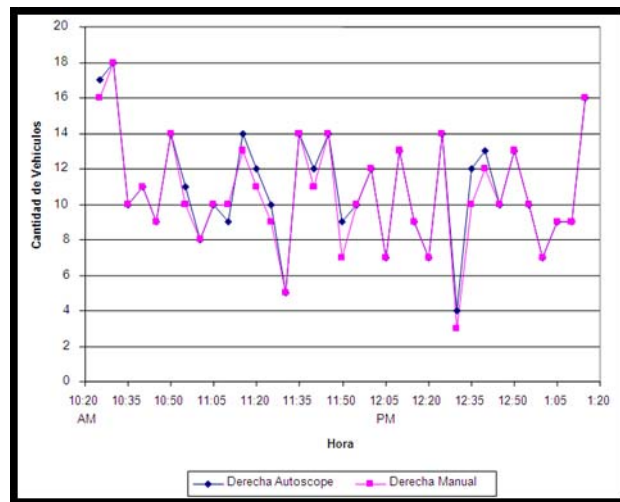
Luego de relocalizar los detectores se observó que en los virajes a la izquierda se obtuvo un error de 4.47%. En movimientos directos el por ciento de error obtenido fue de 3.85%. Para los virajes a la derecha se obtuvo un error de 2.75%. Al analizar la data de forma general se obtuvo un error por arco 1.87%. Este cambio disminuyó el porcentaje de error por acceso a un 3.83%. Luego de realizar estos cambios los errores se redujeron.

#### ANÁLISIS DE DATOS

Las pruebas hechas a los equipos proporcionaron información sobre la exactitud del equipo. Al realizar estos conteos se pudo observar que la exactitud de los datos era alta, utilizando el método de cancelación de errores. Esta cancelación de errores ocurre por ejemplo cuando el equipo cuenta en más de una ocasión a un mismo vehículo, pero en otro intervalo pasan algunos vehículos sin ser contados. Para verificar que la cancelación de errores no fuera tal, que el equipo no funcionara como se espera, se hicieron curvas de frecuencia y frecuencia

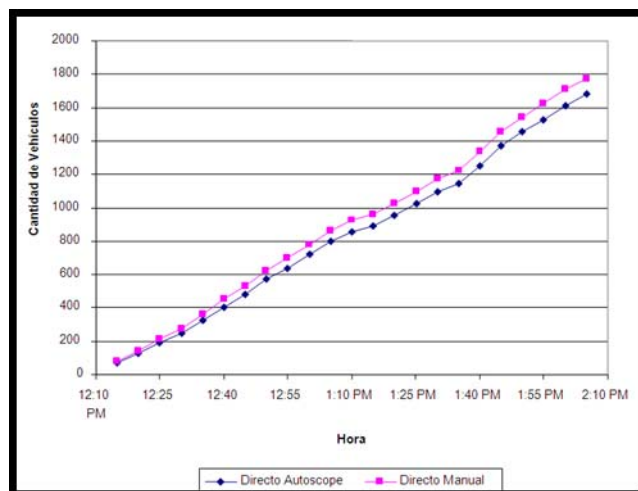


acumulada. Estas curvas demuestran que los conteos con el equipo Autoscope ® y comparándolas con los reales, siguen el mismo patrón de comportamiento. En la Figura 8 se muestra que la forma de la curva para los conteos de Autoscope® es similar a la forma de la curva de los conteos manuales de precisión. Se encontró que para cada movimiento las curvas son similares, aunque tengan un error alto.



**Figura 8 Curva de Frecuencia de la prueba en Zona Suburbana en laboratorio.**

Analizando las curvas de frecuencia acumulada se encontraron los mismos resultados: aunque no son idénticas, la forma de las curvas se conserva. Como ejemplo de este análisis se presenta la Figura 9, que es la curva de frecuencia acumulada de la prueba en la Zona Rural para los movimientos directos. Aunque los conteos de Autoscope ® están por debajo de los conteos manuales, siguen estando dentro de lo que es aceptable.



**Figura 9 Curva de Frecuencia acumulada de la prueba en la Zona Rural.**

## 6. CONCLUSIONES

La tecnología para hacer conteos de vehículos en intersecciones semaforizadas ha mejorado sustancialmente en los últimos años. Debido a esto, el uso de conteos manuales parece ser cada vez más obsoleto. Se encontró un método alternativo a los conteos manuales, más eficiente y con precisión aceptable. Para eso fue necesario investigar todas las tecnologías existentes: detectores magnéticos, infrarrojos, de microondas, de video y por radar. Luego de buscar en la literatura se determinó la tecnología más eficiente para la recolección de datos de campo en intersecciones. Esta tecnología resultó ser la de imagen a través de video, razón por la cual se le hizo el estudio.

Luego de probar el equipo se comprobó la eficacia de éste bajo diversas condiciones. El equipo Autoscope ® demostró funcionar correctamente en carreteras con *carriles exclusivos* para movimientos izquierdos, directos y derechos. Esto se demuestra en las pruebas de la zona Urbana, zona Rural y zona Suburbana. El por ciento de error por acceso en todos los casos es menor de 8% (separando los errores positivos y negativos). El mayor error por acceso ocurrió en la prueba del área suburbana realizada en el laboratorio con un error negativo de 7.57%. El porcentaje de mayor error por carril ocurrió en el carril de virajes a la derecha, en la zona Urbana con un por ciento de error positivo de 52.3% el cual fue provocado por una mala posición de la cámara, esta fue instalada en un puente peatonal (era necesario que estuviera más alta).

Por otro lado, en carriles con movimientos no exclusivos o indebidamente marcados (virajes a la derecha, izquierda o directo) donde hay gran interacción de peatones y otros eventos que alteran la imagen (Ej. Aves), este equipo no tiene la capacidad para realizar conteos correctamente. Esto quedó demostrado en la prueba del casco urbano de Mayagüez donde se observó un error por acceso de 58.6% y un error por movimiento a la izquierda superior al 100%. Estos errores fueron causados por limitaciones de los detectores de Autoscope ® para diferenciar los virajes a movimientos directos, *en carriles indebidamente marcados o compartidos*. Además el alto número de peatones en el área, sobretodo en grupos, tienden a marcar los detectores. Otro factor que contribuye al alto porcentaje de error es el viraje de los camiones, al tener un radio de giro mayor que un vehículo convencional, tiende a marcar más de un detector a la vez. En esta prueba, la cámara se ubicó lo mejor posible, dentro de las estructuras adyacentes que estaban disponibles para su instalación.

El equipo Autoscope ® demostró funcionar eficientemente en accesos de 4 carriles (dos carriles directos, un carril exclusivo para la izquierda y uno para la derecha) y en accesos de 5 carriles. Si todos los carriles están debidamente marcados y tienen uso exclusivo, el sistema Autoscope ® tiene un funcionamiento satisfactorio. El error obtenido en conteos por acceso está dentro de un 8% y para conteos por arco de 5%. Es importante recalcar que típicamente, para esa cantidad de carriles, el volumen vehicular en el periodo pico suele ser alto. Los volúmenes altos dificultan los conteos manuales.

Al realizar esta investigación se evaluó el funcionamiento de detección de vehículos a través de imágenes de video. Una vez realizados los estudios, se observa que para las condiciones locales de Puerto Rico, la tecnología de video tiene un gran potencial de aplicación. Por lo tanto, se recomienda que se considere este tipo de tecnología para realizar estudios futuros en intersecciones. Las ventajas son notorias y la exactitud es similar a la obtenida con conteos manuales para intersecciones o segmentos de carretera con flujos altos.

## REFERENCIAS

- Minnesota Department of Transportation and SRF Consulting Group, Inc. (2002). "Evaluation of Non-Intrusive Technologies for Traffic Detection". Federal Highway Administration, Washington D.C., United States.
- Roess, R.P., McShane, W.R. and Prassa, E.S. (1998). *Traffic Engineering*. Prentice Hall, New Jersey, United States, pp. 130-135.
- Polk, A. (1996). "Field Test of Non-Intrusive Traffic Detection Technologies". Minnesota Department of Transportation, Minnesota, United States, p. 236-242.
- Texas Transportation Institute. (2003) Vehicle detection Workshop, [http://transops.tamu.edu/documents/TexITE\\_06\\_22\\_00/Session3.pdf](http://transops.tamu.edu/documents/TexITE_06_22_00/Session3.pdf). (june, 2003)
- Federal Highway Administration. (1997). "Field Test of Monitoring of Urban Vehicles Operations using Non-Intrusive Technologies". Federal Highway Administration, Washington D.C., United States.

## ***Autorización y Renuncia***

*Los autores autorizan a LACCEI para publicar el escrito en los procedimientos de la conferencia. LACCEI o los editores no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que esta expresado en el escrito*