

# Equipo para la clasificación de vehículos utilizando lazos inductivos: un desarrollo innovador

Inductive-loop vehicle classifier: an innovative development

Dardo GUARAGLIA, Enrique SPINELLI, Pablo A. GARCÍA, Roberto J. VIGNONI  
*GITEC: Grupo de Innovación y desarrollo electrónico para la transferencia de Tecnología. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de La Plata. Buenos Aires (Ciudad de La Plata, 1900, Argentina).*

Anibal VAZQUEZ

*Dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires.*

## RESUMEN

*En la Provincia de Buenos Aires, Argentina, existen muchas instalaciones con lazos inductivos para contar tránsito<sup>(a)</sup>. La experiencia indica que las instalaciones son muy confiables y que podrían ser fácilmente modificadas para ser utilizadas con clasificadores. A partir de la necesidad de contar con clasificadores de tránsito de bajo costo de instalación y mantenimiento, bajo índice de vandalismo y larga vida útil, se decidió desarrollar un clasificador utilizando lazos inductivos como sensores. En este trabajo se presentan los pasos del desarrollo y los resultados obtenidos con el equipo instalado en una ruta.*

*Para este proyecto se evaluaron las firmas magnéticas que el parque automotor genera sobre los lazos actualmente utilizados. Esto permitió desarrollar un equipo que utiliza la estimación de la distancia del vehículo al pavimento como variable de clasificación. Esta innovación permite la clasificación confiable de cuatro categorías: autos y "pickups"<sup>(b)</sup>; Camiones; Ómnibus; y Camiones con acoplados y semi remolques*

*Palabras clave: Clasificador, Lazo inductivo, Tráfico, Vehículo, Sensor, Camión*

## ABSTRACT

*In the Buenos Aires Province, Argentina, there are many inductive-loop installations to count vehicles. The experience with these installations indicates that they are very reliable and could be easily modified to classify vehicles. With the objective of having low-cost, long life and low exposure to vandalism vehicle classifiers it was decided to develop classifiers with inductive-loops as sensors. The development's steps and the results of an instrument installed in a highway are presented in this work.*

*The magnetic signatures that the vehicles produce on the inductive-loops already installed were evaluated during the project. This study allowed developing an innovative classifier which uses the estimates of the distance between the pavement and the vehicles to improve the classification. This upgrading enables to reliably classify four categories: cars and pickups; vans; buses; and trucks with trailers and semi trailers.*

*Key words: Classifier, Induction loop, Traffic, Vehicle, Sensor, Lorry.*

(a) En España se utiliza generalmente el término *tráfico*.

(b) Camioneta de carga con zona trasera descubierta, muy usual en América.

**TEORÍA DE LA CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS MEDIANTE LAZOS INDUCTIVOS**

Es de suma importancia contar con información de la composición, distribución y velocidad del tránsito para el diseño geométrico de un camino: radios y peraltes de curvas horizontales, parámetros correspondientes a curvas verticales, pendientes, anchos de calzada, etc. También es necesaria para el diseño estructural de un camino y para definir las políticas de conservación de una red vial<sup>(I, IV, III)</sup>.

Para poder determinar la velocidad y el largo de los vehículos, se requieren dos espiras (A y B) de largo  $L_E$  separadas una distancia  $L$ , tal como se muestra en la Figura 1 (a). Ante el paso de un rodado<sup>(a)</sup>, las espiras idealmente entregan las señales indicadas en la Figura 1 (b), a partir de las cuales es posible determinar:

- $T_{AB}$ : tiempo que transcurre entre la detección del vehículo en la espira A y en la B.
- $T_{AA}$ : tiempo que el vehículo permanece sobre la espira A.

Midiendo estas variables, es posible determinar la velocidad  $v$  y el largo  $L_V$  del vehículo según:

$$v = \frac{L}{T_{AB}}$$

$$L_V = \frac{T_{AA}}{v} - L_E$$

De este modo se estima la velocidad y el largo de cada vehículo para su clasificación.

**EQUIPO DE LABORATORIO**

La primera etapa del proyecto consistió en diseñar y construir un sistema para adquirir el estado de las espiras a una frecuencia que permitiese determinar  $T_{AB}$  con una resolución razonable. Considerando una separación entre espiras  $L$  igual a 4 m, espiras de 2 m de largo ( $L_E$  igual a 2 m) y una velocidad máxima de 150 km/h,  $T_{AB}$  resulta aproximadamente 100 ms (0,1 s). Por este motivo se adquieren 500 muestras de la frecuencia de las espiras por segundo para disponer de al menos 50 medidas de frecuencia en el tiempo  $T_{AB}$

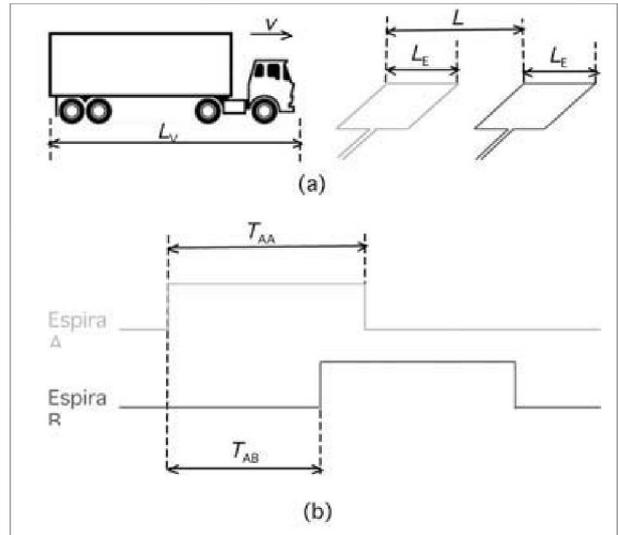


Figura 1. (a) Esquema general de instalación y (b) señales utilizadas por los clasificadores.

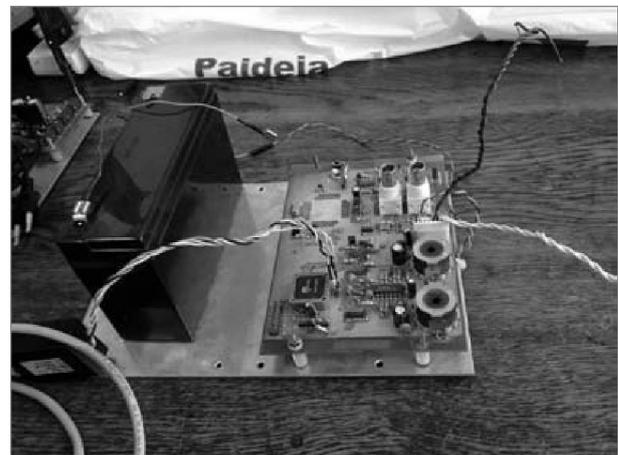


Foto 1. Primer clasificador durante pruebas de laboratorio.

El objetivo de esta etapa era obtener un prototipo que posibilitara adquirir señales representativas de distintos tipos de vehículos tales como, camiones, ómnibus y automóviles, para luego estudiar distintos algoritmos de clasificación.

El prototipo fue probado en laboratorio utilizando un modelo a escala y una placa metálica impulsada por un motor, que simula el paso del vehículo. Luego de un período de prueba y algunas correcciones fue posible validar el correcto funcionamiento del sistema de medida (ver Foto 1).

**SEÑALES CAPTURADAS EN RUTA**

El sistema de adquisición se conectó a las espiras instaladas en una ruta de la Provincia de Buenos Aires y se tomaron diversos registros de señales representativas de distintos tipos de vehículos. Se seleccionó un tramo que presenta tránsito muy variado. Esto permitió obtener

(a) Vehículo es el término normalmente en España.



Foto 2. Preparación del primer prototipo en una ruta, con la colaboración del personal de la Dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires.

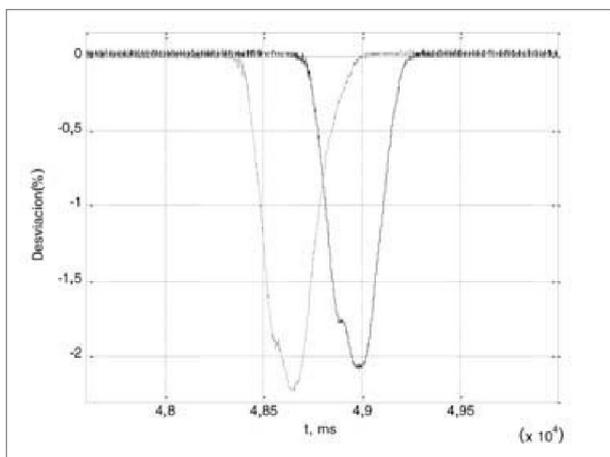


Figura 2. Firma magnética de un automóvil.

registros magnéticos de distintos tipos de vehículos, circulando a diversas velocidades (ver Foto 2).

Se adquirieron varios registros a partir de los cuales se graficaron las firmas magnéticas de los vehículos<sup>(1, 5)</sup>, calculadas como la desviación porcentual de las frecuencias de las espiras, resultando los gráficos que se presentan en las Figuras 2 a 6.

Con los datos obtenidos en la ruta, se efectuaron diversos estudios estadísticos. Durante los mismos se observó que, además de clasificar los vehículos por su longitud, era posible utilizar la desviación  $D$  en la frecuencia de operación de las espiras para diferenciar los vehículos que poseían similar longitud, tales como algunos ómnibus y camiones. Esto se debe a que los ómnibus poseen menor despeje (distancia del piso del vehículo al suelo) que los camiones, por lo cual producen mayores desviaciones (Foto 3).

La utilización de las firmas magnéticas de los vehículos para clasificación ha sido propuesta por algunos investigadores<sup>(1, 5)</sup>. Adaptando esta idea, a las limitaciones de los equipos autónomos alimentados mediante baterías, en los cuáles, tanto la energía como la capacidad de

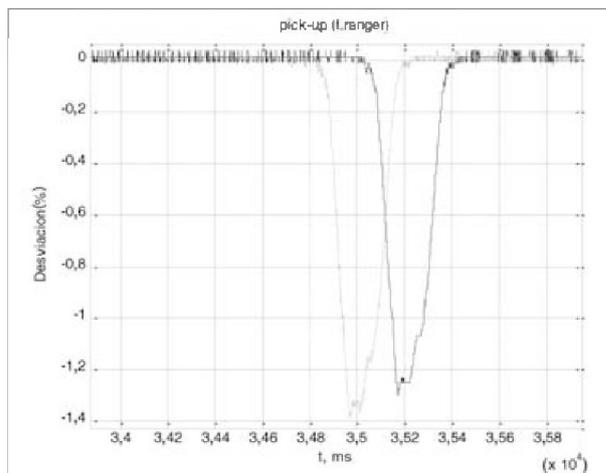


Figura 3. Firma magnética de una "pick-up".

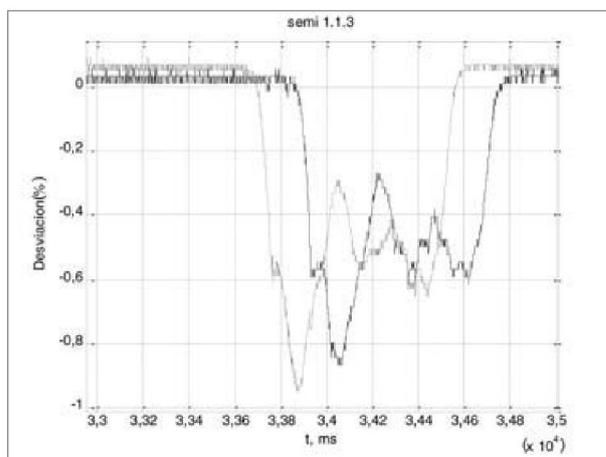


Figura 4. Firma magnética de un camión semi-remolque.

cómputo son recursos escasos, se adoptó la desviación media  $D$  como parámetro adicional de clasificación. Esta solución implica una innovación respecto de los equipos comerciales, que sólo clasifican según el largo de los vehículos.

Esta ventaja potencial, se debía validar con datos experimentales. En los primeros ensayos se observó que, para que esta estrategia fuese aplicable, se requería una estimación precisa del nivel base, que corresponde al estado de las espiras sin la perturbación introducida al pasar un vehículo sobre ellas. Esto es especialmente importante porque la medición propuesta, debe establecerse respecto de este nivel de referencia. Seguidamente se describe el método desarrollado para determinar este valor de referencia en tiempo real. Este método es necesario porque el nivel base presenta variaciones que pueden ser del orden de las desviaciones producidas por un vehículo.

## ESTIMACIÓN DE LA LÍNEA BASE

Para la determinación de la desviación  $D$  es importante estimar correctamente el *nivel base* o *línea base*, con

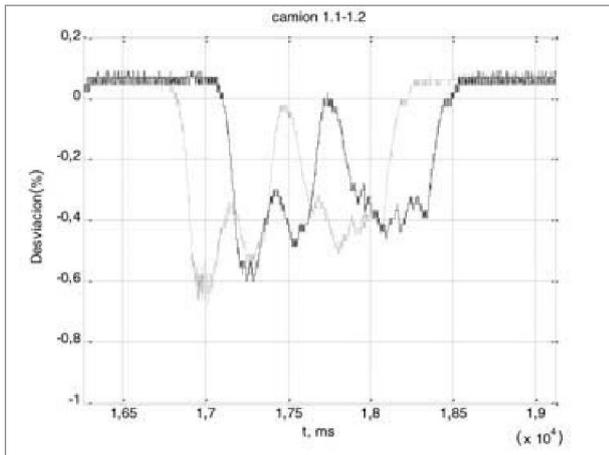


Figura 5. Firma magnética de un camión con acoplado.

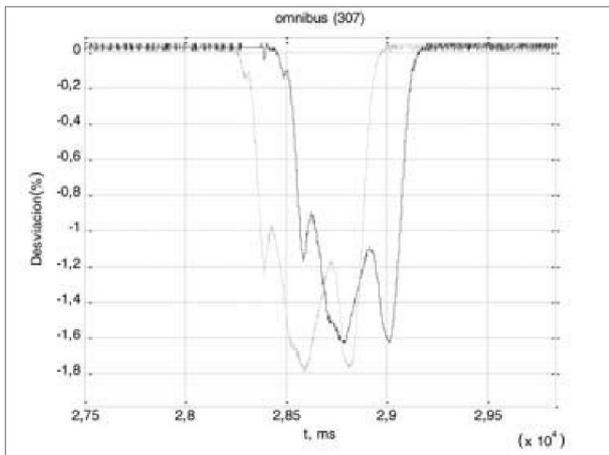


Figura 6. Firma magnética de un ómnibus.

este propósito se desarrolló un algoritmo que estima las frecuencias de operación de las espiras cuando no hay vehículos sobre ellas:

- Inicialmente, el algoritmo fue probado en una simulación;
- luego fue implementado sobre el equipo y probado en condiciones de laboratorio; y
- finalmente, fue ensayado en condiciones reales de uso.

### 1. Pruebas de campo

El algoritmo fue probado en una instalación de la Ruta Provincial 36 (Foto 4). Se registraron las señales de ambas espiras procesadas por el equipo, en tiempo real, con el filtro suavizador y el restaurador de línea base. El objetivo de esta etapa era disponer de una colección de firmas magnéticas que permitieran delinear las estrategias de detección y clasificación. Para estos ensayos se desarrolló un programa en alto nivel, que permite visualizar en el campo, las firmas magnéticas registradas por el equipo. Seis de estos registros se muestran en la Figura 7.

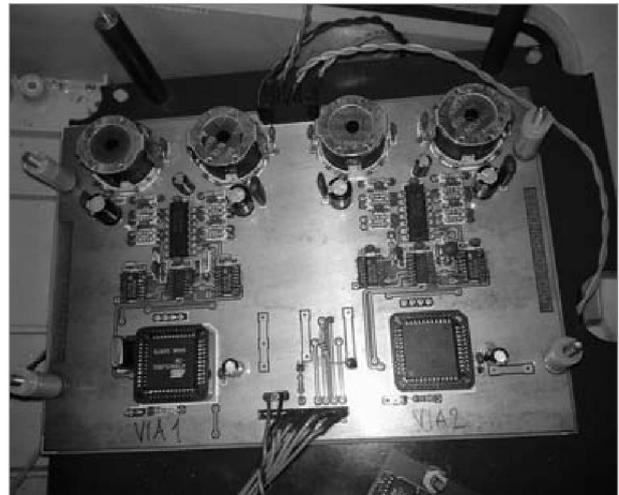


Foto 3. Uno de los primeros circuitos probados en ruta.



Foto 4. Se observan 6 equipos listos para su instalación.

A partir de estas pruebas de campo se concluyó que se disponía de un sistema suficientemente confiable para adquirir una considerable colección de firmas magnéticas correspondientes a distintos tipos de vehículos. A partir del análisis visual de los registros obtenidos se puede realizar las siguientes observaciones:

- Los automóviles producen desviaciones del orden del 1% y superiores.
- Los camiones producen desviaciones de alrededor del 0,3% y los ómnibus de más 0,8%.
- Como conclusión de estas pruebas, se estima posible utilizar la desviación  $D$  de las espiras, que es un indicador del despeje del vehículo al suelo, como una variable a incluir en el proceso de clasificación.

### ESTIMACIÓN DE $T_{AB}$

El principio de funcionamiento, descrito al inicio requiere dos espiras (A y B) de largo  $L_e$  separadas una distancia  $L$ , a partir de cuyas señales es posible determinar  $T_{AB}$  y

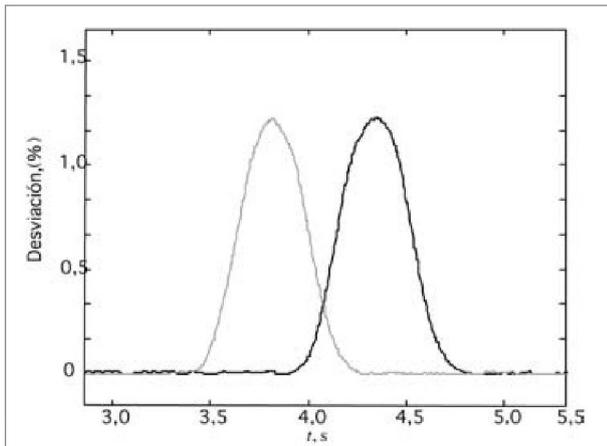


Figura 7a. Automóvil Palo (c081210).

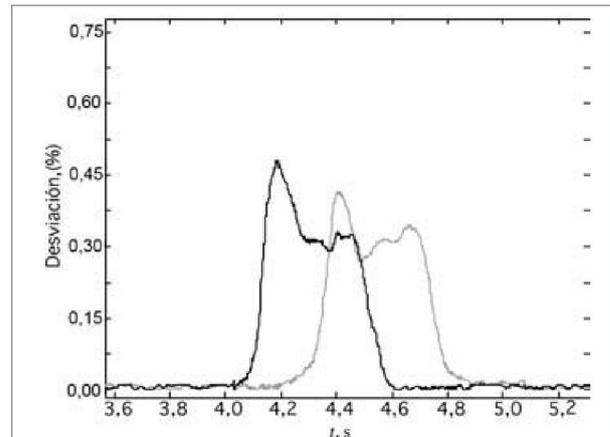


Figura 7c. Camión 1.1 (q081210).

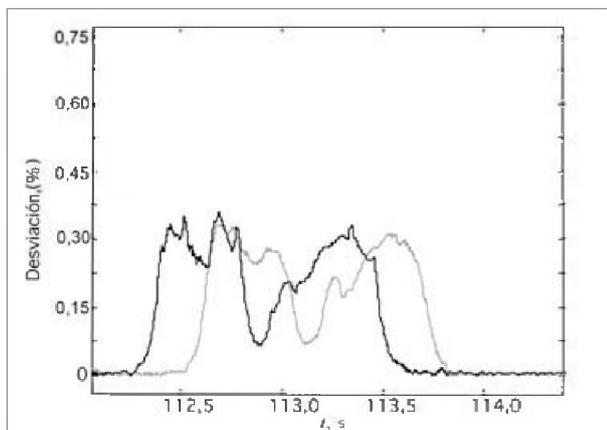


Figura 7b. Camión 1.1 - 1.2 (d081210).

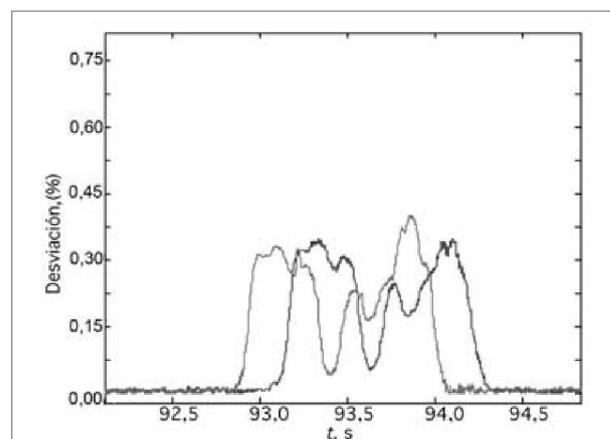


Figura 7d. Camión 1.1 - 1.2 (081210).

$T_{AA'}$ . Mediante estas variables, se obtienen la velocidad  $v$  y el largo  $L_v$  del vehículo.

Las señales utilizadas al inicio del trabajo para explicar el principio de funcionamiento son *ideales* y permiten establecer con precisión los tiempos  $T_{AB}$  y  $T_{AA'}$  pero las señales reales no presentan cambios tan abruptos y requieren ser procesadas para determinar estos tiempos. El caso típico de un automóvil (Ford fiesta) se muestra en la Figura 8. Esta señal fue obtenida en la estación experimental sin incluir los procesos de suavizado y restauración de línea base.

Como puede observarse en la Figura 8, la señal de la segunda espira (*aguas abajo*) es una versión desplazada en  $T_{AB}$  de la correspondiente a la primera espira. Existen diversos métodos para determinar  $T_{AB}$ . Uno de los métodos más precisos y con mejor comportamiento respecto del ruido, consiste en utilizar la *función de correlación cruzada*  $R_{AB}$  entre las señales de las espiras. Esta función presenta su máximo exactamente en  $T_{AB}$  permitiendo determinar con claridad este período de tiempo<sup>(vi)</sup>. En la Figura 9 se muestra la  $R_{AB}$  calculada para el vehículo registrado en la Figura 8. Su máximo se produce para  $t$  igual a 0,221 s, que corresponde a una velocidad de 65 km/h.

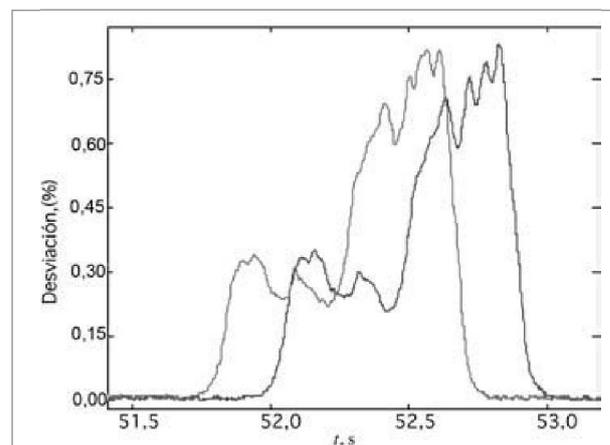


Figura 7e. Camión 1.1.5 (e081210).

La función de correlación  $R_{AB}$  es un excelente método para determinar el tiempo de tránsito  $T_{AB}$  pero tiene un alto costo computacional y no es apropiado para un equipo autónomo con restricciones en su consumo de energía. Por este motivo, se adoptó este método como referencia para evaluar las estimaciones de  $T_{AB}$  obtenidas con otro método más simple de implementar, basado en la determinación de los instantes en que las señales superan un determinado umbral. Estos instantes se indican con círculos en la Figura 10.

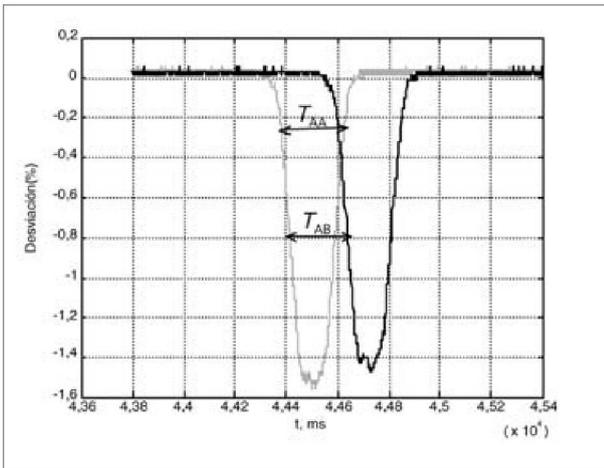


Figura 8. Señales registradas al paso de un automóvil

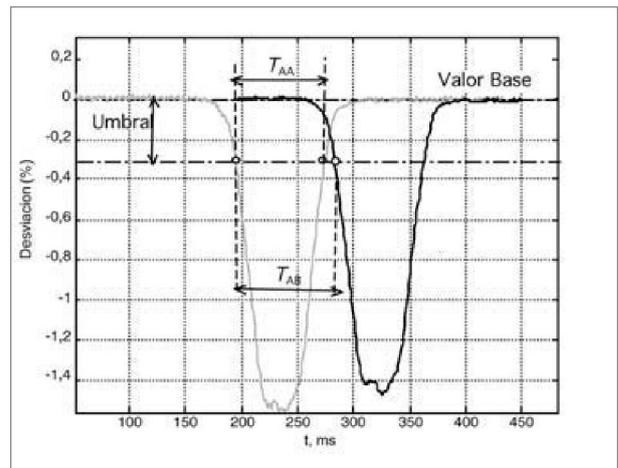


Figura 10. Medición de  $T_{AB}$  comparando las señales captadas por las espiras frente a un umbral.

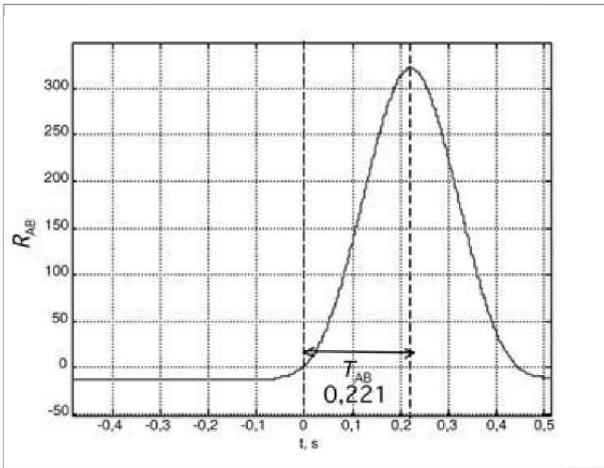


Figura 9. Función de correlación cruzada entre las señales de las espiras. El máximo de esta función se produce para  $T_{AB}$

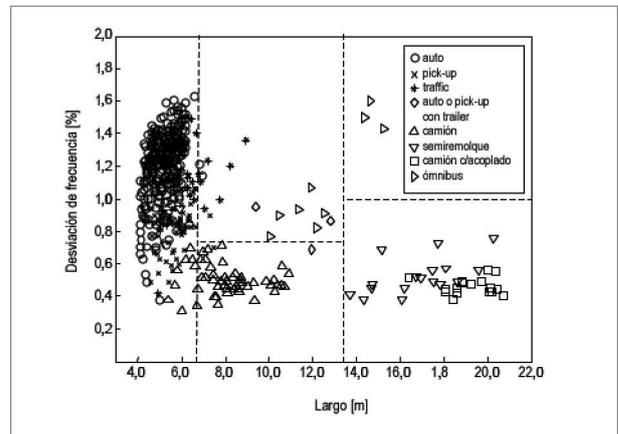


Figura 11. Gráfico de dispersión de vehículos según su largo y desviación  $D$ , identificando los distintos tipos de rodados.

## MEDICIÓN DE $T_{AB}$ POR COMPARACIÓN CON UN UMBRAL

El valor umbral de comparación debe ser suficientemente alto, para no detectar *falsos inicios de vehículos* debido a ruido en las señales, pero relativamente bajo para detectar las pequeñas desviaciones producidas por vehículos altos como camiones cisterna. Observando la colección de firmas magnéticas adquiridas en campo, puede concluirse que un valor umbral entre 0,1% y 0,2% es razonable. Se adoptó 0,3% como umbral con la idea de comprobar en los experimentos de campo si este valor opera correctamente para la variedad de vehículos encontrados en las rutas bonaerenses.

En estas condiciones, aplicando el método de comparación al registro de la Figura 12 resultó  $T_{AB} = 220,7$  ms; un valor muy próximo al obtenido mediante la función de correlación cruzada  $R_{AB}$  (221,0 ms).

El método de comparación de la señal con un umbral es simple de implementar, pero tiene al menos dos puntos débiles:



Foto 5. Se asera un cuadrado de 2 m por 2 m en el pavimento para instalar la espira.

- el *valor umbral* debe definirse a partir del *valor base* que adopta la espira en la condición *sin vehículo*, y
- deben evitarse variaciones bruscas de la señal que, no estando relacionadas con la firma magnética del vehículo, produzcan *disparos*<sup>(a)</sup> no validos.



Foto 6. Las mediciones del equipo son contrastadas con clasificaciones visuales.

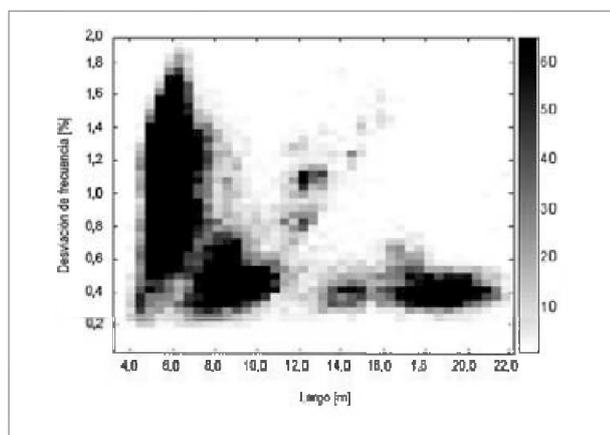


Figura 12. Gráfico de densidad de vehículos según su largo y desviación  $D$  correspondiente a 10 días de almacenamiento. Se observan claramente las distintas categorías.

Estos inconvenientes se solucionaron con el filtro suavizador y el algoritmo restaurador de línea base presentados previamente.

## CLASIFICACIÓN SUPERVISADA REALIZADA EN CAMPO

Se tomaron registros de tránsito visualmente y con el equipo durante dos días categorizando individualmente un total de 485 vehículos (ver Foto 6). En el gráfico de la Figura 11 se volcaron el largo y la desviación  $D$ , para cada uno de los rodados.

Se observa que incorporando el parámetro  $D$  es posible distinguir entre camiones y ómnibus de igual largo con lo cuál se podrían clasificar las siguientes categorías: (1) autos, "pickups" y "vans"<sup>(b)</sup>, (2) camiones, (3) camiones c/ acoplado y semi-remolques y (4) ómnibus. La categoría cero (0) se reserva para los vehículos no clasificados.

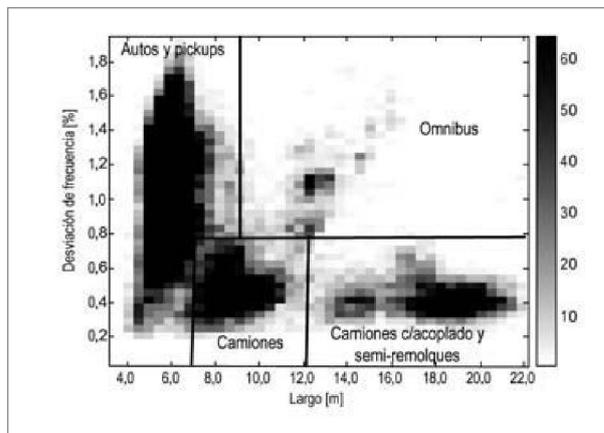


Figura 13. Gráfico de densidad de vehículos según su largo y desviación  $D$ . Se indican las regiones propuestas para cada categoría.

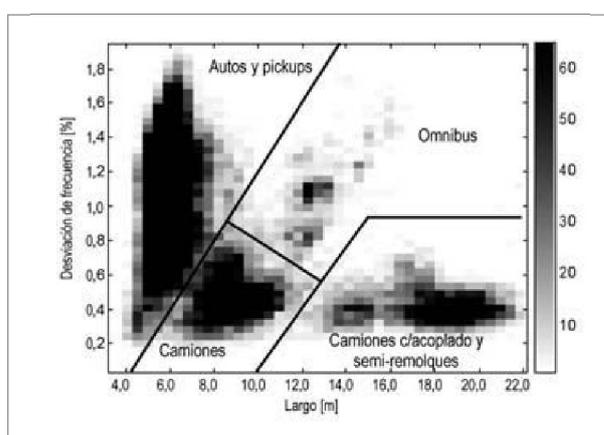


Figura 14. Gráfico de densidad de vehículos según su largo y desviación  $D$ . Se indican las regiones propuestas para cada categoría.

## CLASIFICACIÓN NO-SUPERVISADA

Una vez identificadas las categorías factibles de ser clasificadas se procedió a modificar el equipo para que pudiera adquirir en forma autónoma por largos períodos. Así, se adquirieron registros de tránsito durante 30 días. Los datos que se analizan a continuación corresponden a registros obtenidos durante los días 13/09/11 al 24/09/11. En ese período fueron registrados un total de 77.035 vehículos, de los cuales sólo el 2,2% no pudo ser clasificado. Este porcentaje de vehículos no clasificados es razonable y está por debajo del 5% usualmente aceptado en clasificadores de tránsito con barras piezoeléctricas.

En la Figura 12 se muestra un gráfico de dispersión obtenido a partir de los datos antes descritos donde pueden apreciarse las distintas categorías. Para mayor claridad se asignan distintos tonos de gris según la densidad de vehículos.

(a) Se denominan *disparos* a los instantes donde la señal cruza el valor umbral.

(b) *Furgoneta* usualmente en España.

<b>EQUIPO</b>	CLASIFICADOR_ESPIRAS_01
<b>OPERADOR</b>	Pablo A. García
<b>LUGAR</b>	Ruta 36
<b>SENTIDO VIA</b>	hacia Verónica
<b>FECHA INICIO</b>	19/08/11 10:00:00

HH:MM:SS	V	VEL	LARG	DESV
10:00:00	1	078	1242	0,76
10:00:09	1	055	0613	1,29
10:00:13	2	068	0569	1,35
10:00:24	2	108	0570	0,79
10:01:07	1	053	0585	1,30
10:01:42	1	050	1887	0,52
10:01:46	1	056	0676	0,72
10:01:52	1	070	0502	0,70
10:01:59	1	065	0690	0,39
10:02:04	1	058	0981	0,50

Tabla 1. Registro típico almacenado por el equipo desarrollado.

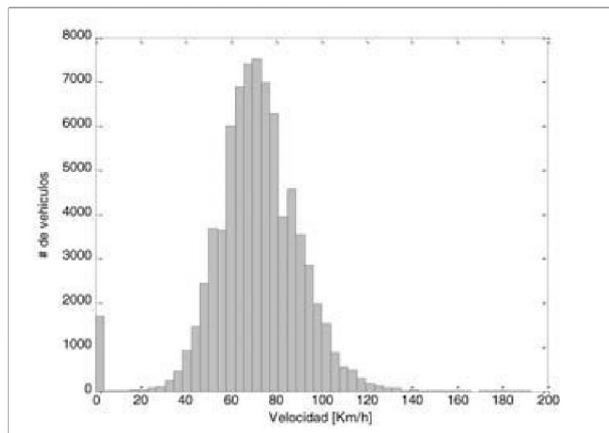


Figura 15. Distribución de velocidades.

Como puede observarse en la Figura 12 es posible identificar claramente al menos 4 categorías que pueden individualizarse a partir del ensayo con clasificación supervisada. El proceso de clasificación implica definir los límites que establecen las regiones para las distintas categorías; por ejemplo mediante las rectas horizontales/verticales de la Figura 13. Esta estrategia corresponde a un esquema simple de clasificación, pero sin demasiada complejidad adicional pueden definirse regiones limitadas por rectas arbitrarias como aquellas que se proponen en la Figura 14, o incluso por curvas.

Es importante hacer notar que es posible visualizar distintos grupos a partir de los gráficos de densidad. Es decir, más allá de diferencias de calibración que pudieran existir entre distintos equipos o estaciones de medida, las zonas correspondientes a cada grupo pueden obtenerse a partir de las mismas medidas. Luego, gracias al trabajo de clasificación supervisada que se resume en la

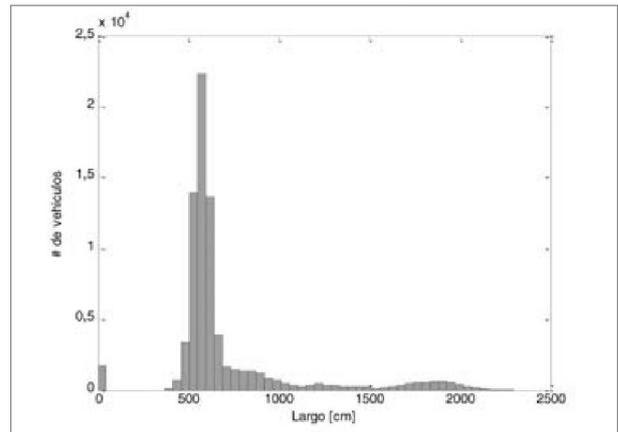


Figura 16. Distribución del largo de los vehículos.

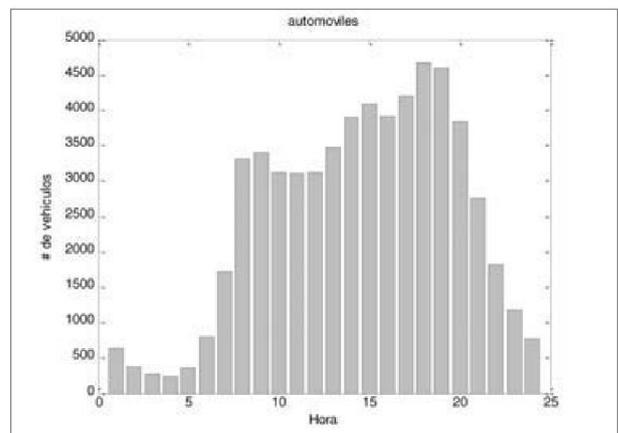


Figura 17 (a) Totales de automóviles por hora.

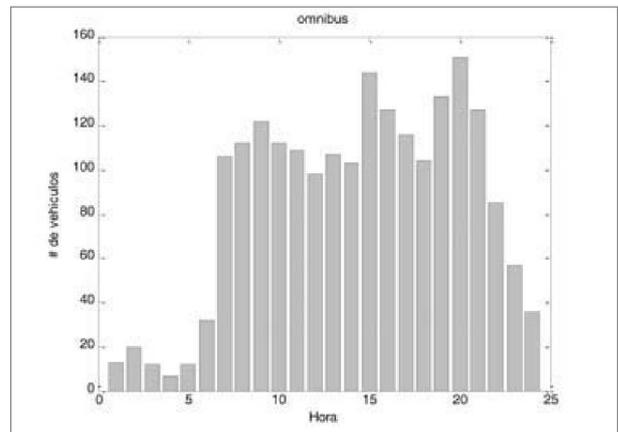


Figura 17 (b) Totales de ómnibus por hora.

Figura 11, es posible saber a que tipo de vehículo corresponde cada grupo.

### ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN REGISTRADA POR EL EQUIPO

El equipo desarrollado almacena información detallada de cada vehículo: hora, minuto, segundo (HH:MM:SS), vía (V), velocidad (Vel), largo (Larg) y una indicación de su distancia al piso (D). En la Tabla 1 se muestra un segmento de un registro típico.



Foto 7. Luego del corte en el pavimento se introduce el cable para formar la espira.

La información registrada genera archivos de tamaño considerable pero permite realizar diversos análisis de tránsito. Por ejemplo, en la Figura 15 se muestra la distribución general de velocidades y en la Figura 16 de longitudes.

También es posible obtener, como es usual, los totales horarios por cada categoría. En la Figura 17 se muestran los totales por hora (se sumaron todos los días) para algunas categorías.

## CONCLUSIONES

Se ha desarrollado un equipo para clasificar vehículos utilizando lazos inductivos, cuyas pruebas de campo demuestran una baja tasa de error. Este equipo permite distinguir cuatro categorías, Autos y "pickups", Camiones, Ómnibus, y Camiones con acoplados y semi remolques.

El registro de la desviación que cada vehículo produce sobre la frecuencia de operación de la espira, ha permitido plantear una nueva estrategia de clasificación con prestaciones que superan a las de las técnicas convencionales, que se basan exclusivamente en el largo de los vehículos.

Estos nuevos clasificadores con lazos inductivos permitirán a la DVBA clasificar el tránsito con sensores confiables, de larga vida útil, baja exposición al vandalismo, bajo costo y escaso mantenimiento. A partir de este desarrollo las 18 Estaciones Permanentes de Medición de Tránsito, que solamente registran volúmenes de tránsito, podrán incorporar la clasificación vehicular. La clasificación es importante para: el diseño estructural de pavimentos, las

políticas de conservación, el diseño geométrico, las políticas de control de carga y los estudios de sistemas de transporte intermodal, entre otros.

El equipo desarrollado almacena una gran cantidad de información sin procesar. Esto genera archivos de tamaño considerable (decenas de MB), pero permite conservar los datos para futuros estudios y experimentar otros tipos de procesamientos que se adapten mejor a los caminos de nuestra región.

El desarrollo tecnológico logrado, permite satisfacer una necesidad de la División Tránsito de la DVBA, y ofrece la mejor alternativa para optimizar la asignación de los recursos económicos y de personal.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- I. Aguirre M., R. Berretta, M. Lavecchia, M.D. Ruiz y A. Vázquez. "Implementación de un sistema de gestión en la red de estaciones permanentes de medición de tránsito". Revista Carreteras, marzo 2005, pp 58-72.
- II. Gajda J, Ryszard S, Stencel M, Wajda A and Zeglen, 2001, "A Vehicle classification Based on Inductive Loop Detectors," Proceedings of the 18th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference IMTC 2001. Budapest, 2001. ISBN: 0-7803-6646-8.
- III. Lordi H., G. Regazzoni. "Estudio y análisis de los beneficios económicos provenientes de un plan de rehabilitación y conservación de caminos rurales." Revista Carreteras, n° 202, junio 2011.
- IV. Morea, F., "Estudios en el wheel tracking test a diferentes temperaturas y su relación con los límites de comportamiento frente al ahuellamiento.", Revista Carreteras n° 196, diciembre 2009.
- V. Pursula M and Kosonen I (1989), "Microprocesor and PC-based vehicle classification equipment using induction loops". Second International Conference on Road Traffic Monitoring, London, 1989. ISBN: 0-85296-373-4.
- VI. Schwartz M. and Shaw L, 1975, "Signal Processing," McGraw Hill, ISBN 0070556628. 