

Matías G. Krujoski - Javier E. Kolodziej - Sergio E. Moya

krujoskimatias@fio.unam.edu.ar - koloj@fio.unam.edu.ar - sergiomoya@fio.unam.edu.ar
Grupo de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Electrónica, Facultad de Ingeniería – IMAM UNaM-CONICET

INTRODUCCIÓN:

El proyecto de investigación tiene por objetivo general mejorar las condiciones de circulación y la seguridad vial en los municipios de la provincia de Misiones, Argentina, con el estudio e implementación de un sistema de control vehicular inteligente y económico; para ello es necesario un subsistema de detección de vehículos confiable y de bajo costo.

Se analizaron diversas alternativas tecnológicas para la detección de vehículos, como ser sistemas de procesamiento de video con redes neuronales, sistemas de radar, bobinas instaladas en el pavimento; entre las cuales surgen diversas limitaciones económicas y técnicas.

Focalizando en el desarrollo de un método que pueda ser implementado con tecnologías y componentes disponibles en el mercado local; se propone realizar la detección de vehículos utilizando la firma acústica de los motores de combustión, capturada por un arreglo de micrófonos; combinados con un filtro adaptativo actualizado con un algoritmo LMS (del inglés, *Least Mean Square*), en conjunto con el cálculo de la potencia de las señales sonoras.

En el presente, se exhiben los avances obtenidos con la técnica de procesamiento de señales acústicas para estimar la densidad de ocupación vehicular en una intersección de calles controlada por semáforos.

METODOLOGÍA:

En la Fig. 1 se presenta el diagrama de bloques que describe el sistema completo para el control inteligente de los semáforos en una intersección de calles; y se destaca la ubicación del subsistema de estimación de densidad vehicular objeto del presente trabajo.

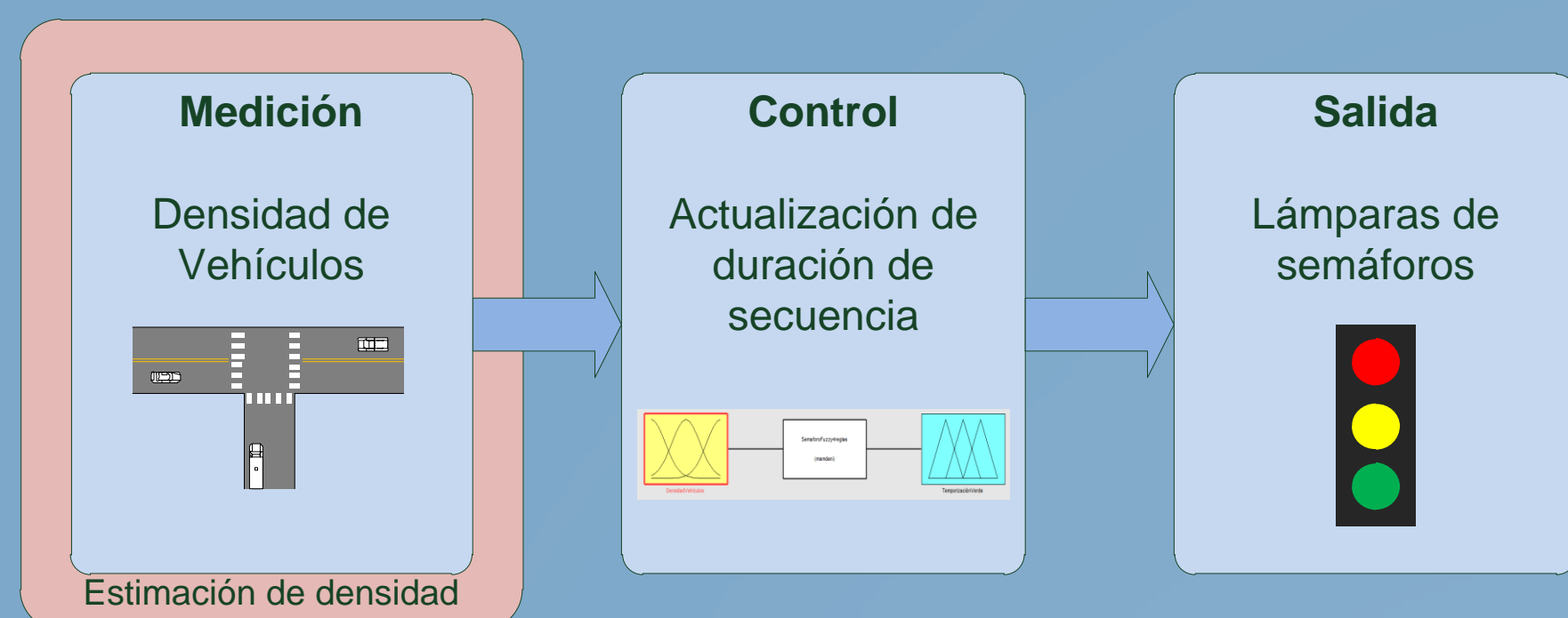


Fig. 1 Diagrama de bloques del control inteligente de semáforos

La estimación de densidad vehicular propuesta se basa en el análisis de las señales sonoras producidas por los motores de los automóviles, en la Fig. 2 se presenta un diagrama de bloques que describe todo el subsistema.

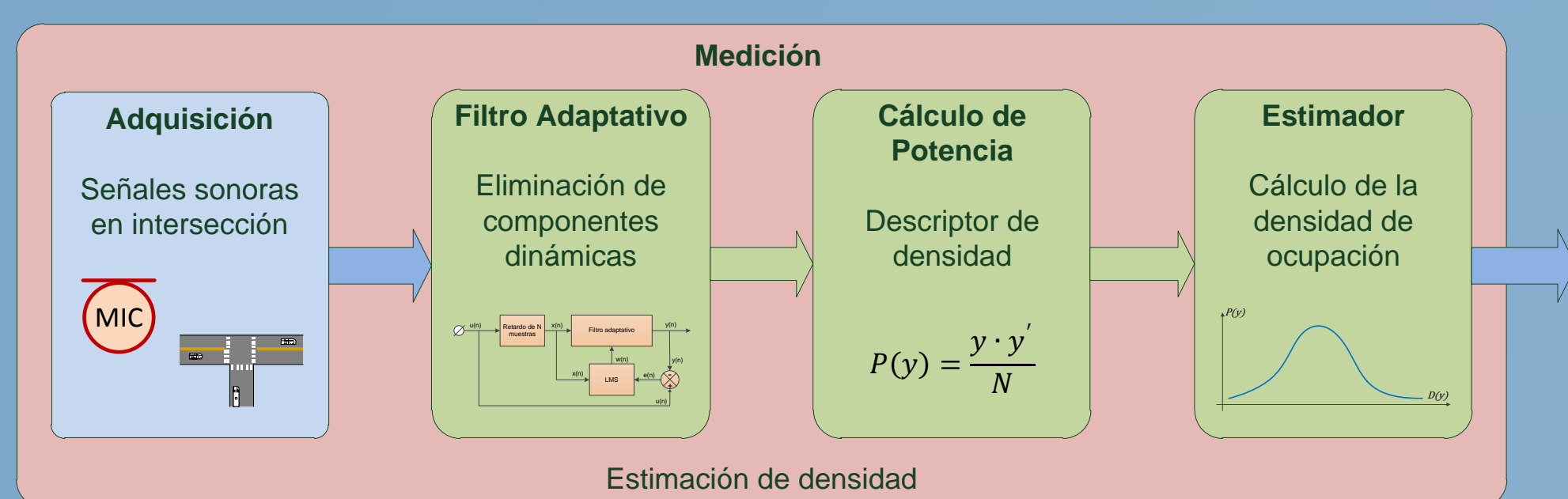


Fig. 2 Diagrama de bloques del subsistema de estimación de densidad

Se propone la aplicación de un filtro FIR adaptativo (con LMS) para diferenciar los sonidos de automóviles en estado dinámico (circulación) o estacionario (detenidos en espera de la luz verde). En la Fig. 3 se presenta el diagrama para la implementación recursiva del filtro.

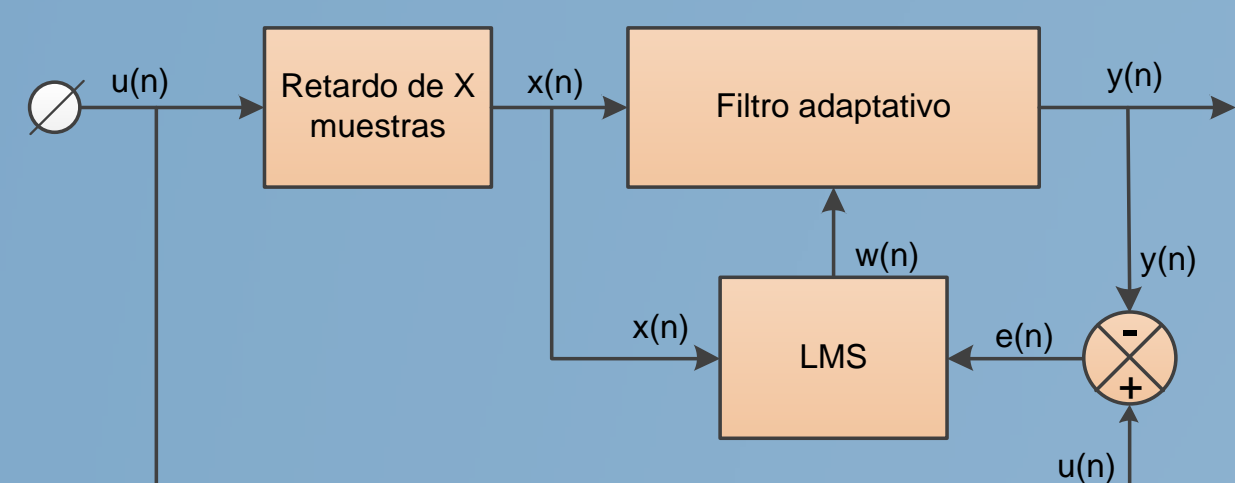


Fig. 3 Diagrama de señales del filtro adaptativo

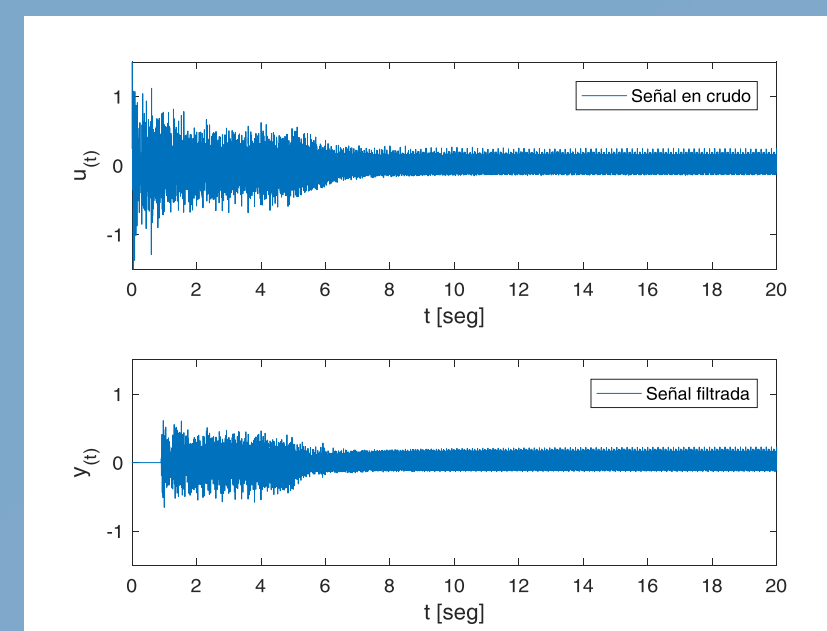
Se utiliza la potencia de señales filtradas como descriptor para estimar la cantidad de vehículos en espera de luz verde. Para diseñar el estimador de densidad de ocupación a partir de la potencia se realizaron cinco ensayos en ambiente de simulación con grupos de entre 50 y 1000 señales sonoras que incorporan desde 1 y hasta 8 vehículos en estado estacionario superpuestos con vehículos en estado dinámico y ruido ambiente.

Utilizando éstas señales se calculó el valor medio de potencia para una cantidad dada de vehículos, como así también su desviación estándar; para con éstos parámetros diseñar el estimador.

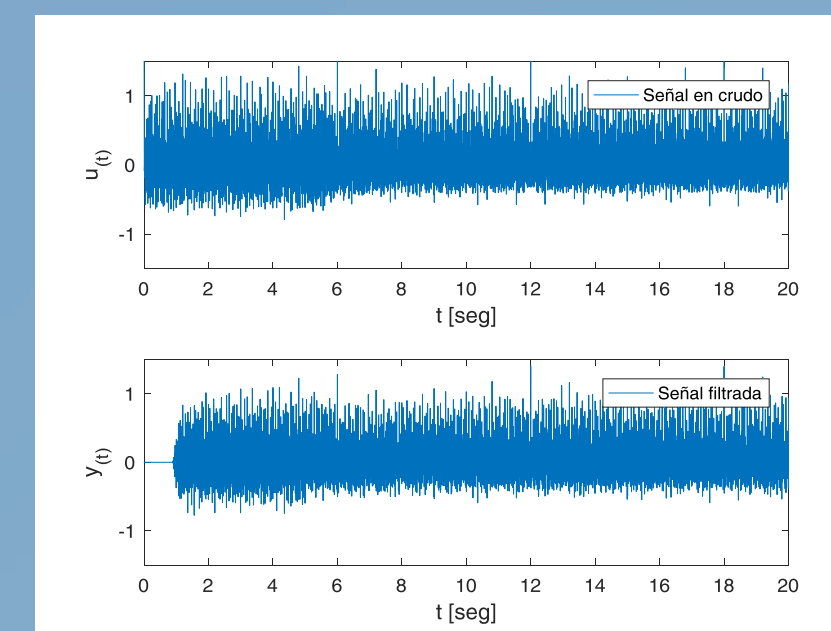
RESULTADOS:

A. Aplicación del Filtro Adaptativo

En las Fig. 4a y 4b se exhiben las gráficas de evolución temporal de señales sonoras para mostrar el efecto de la aplicación del filtro adaptativo, donde puede apreciarse una atenuación global en torno a 20dB y un incremento de la potencia según se incrementa la cantidad de vehículos.



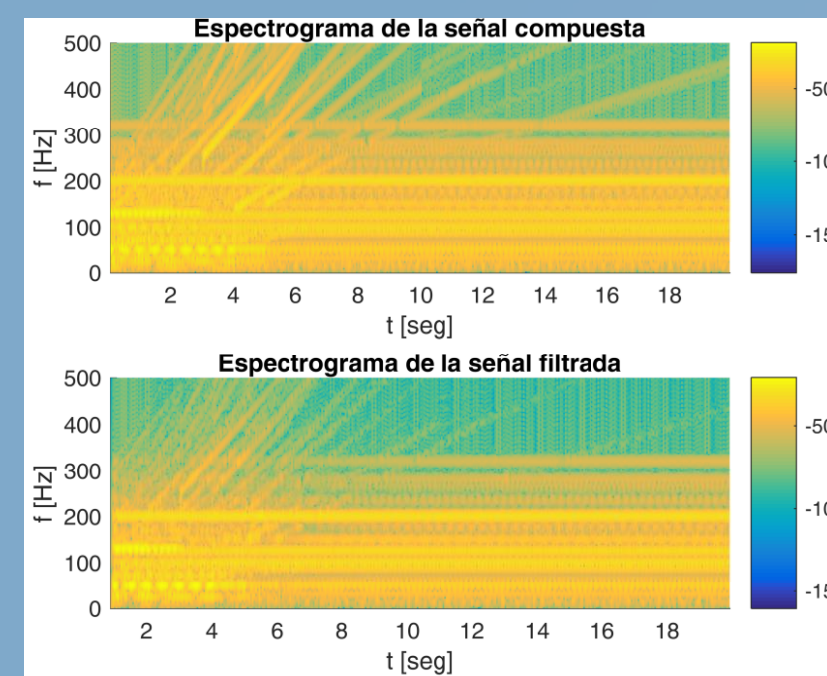
a. Señales para un vehículo estacionario



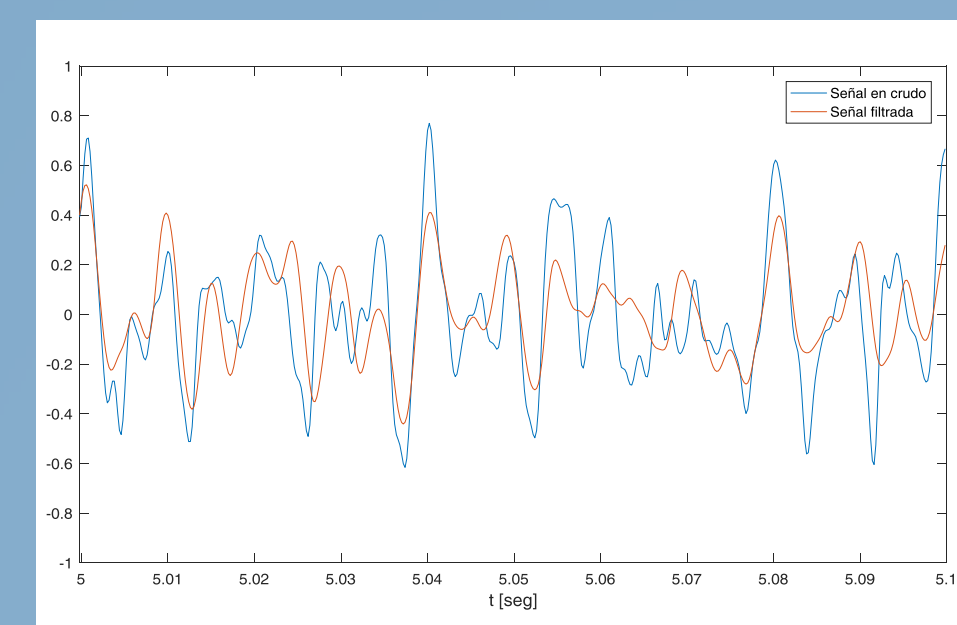
b. Señales para ocho vehículos estacionario

Fig. 4 Evolución temporal de las señales en crudo y filtradas

Para apreciar con mayor detalle el efecto del filtro adaptativo en la Fig. 5a se presenta una comparación entre los espectrogramas de señal en crudo y filtrada; y en la Fig. 5b se incluye una vista al detalle de la evolución temporal.



a. Espectrogramas

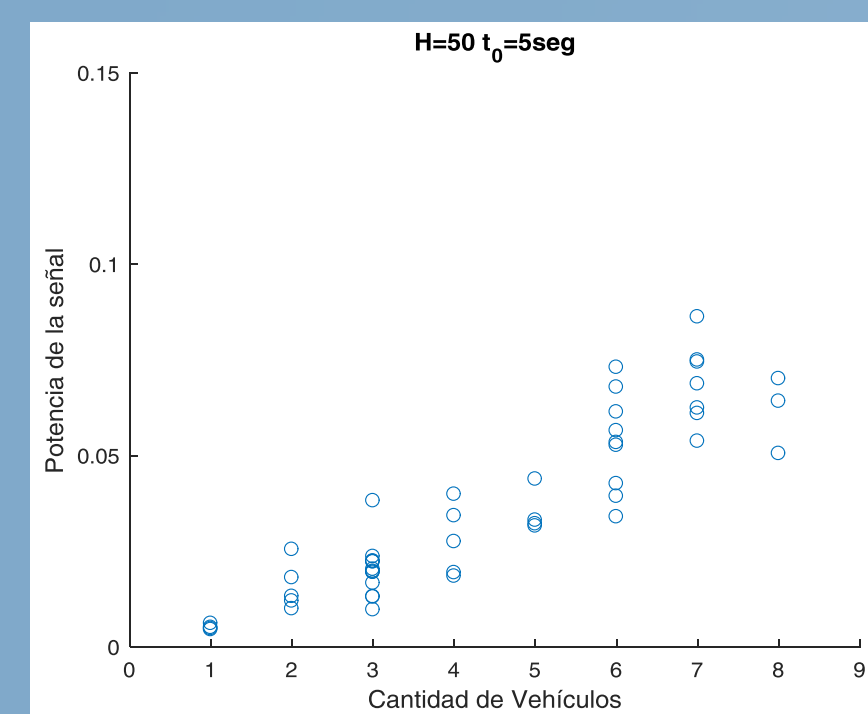


b. Detalle temporal

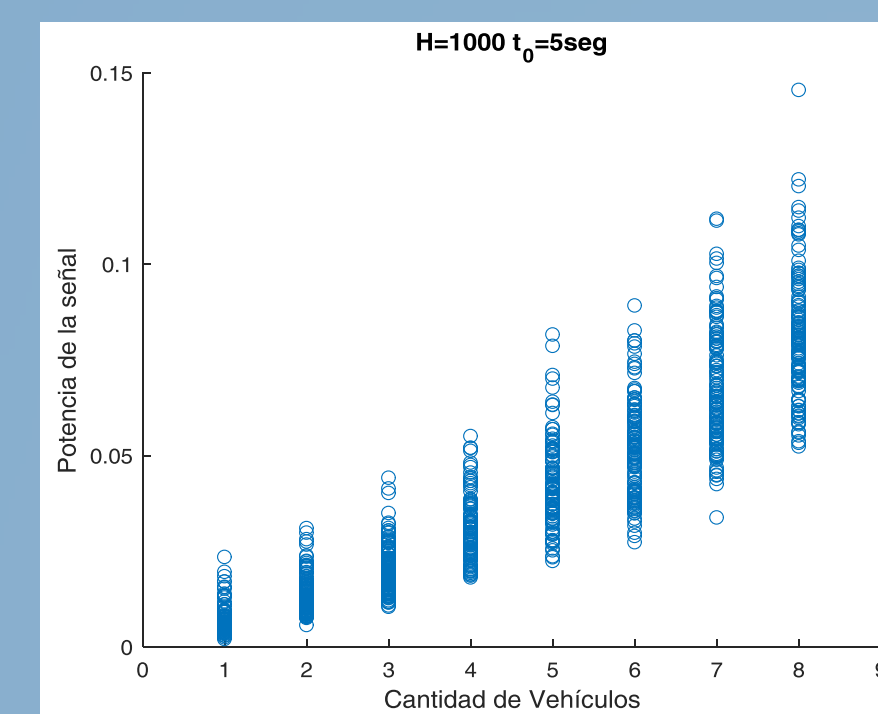
Fig. 5 Detalles para las señales en crudo y filtradas para cuatro vehículos estacionarios

B. Cálculo de potencia de señal

Se calculó la potencia de cada una de las señales de los cinco grupos, en la Fig. 6a se presenta una gráfica con los resultados para las 50 señales del primer grupo; en tanto que la Fig. 6b exhibe los resultados para el grupo de 1000 señales.



a. Experimento con grupo de 50 señales



b. Experimento con grupo de 1000 señales

Fig. 6 Gráfica de los resultados de potencias de las señales sonoras

El análisis de los valores medios de potencia permite inferir que ésta guarda una relación creciente con la cantidad de vehículos estacionarios. Además, se evidencia que en el caso más general (mayor cantidad de señales) ésta relación se aproxima a una cuadrática; según la comparación entre Fig. 6a y Fig. 6b.

No obstante, se aprecia que los valores de potencia presentan gran dispersión, dentro de todas las cantidades posibles de vehículos (entre 1 y 8), presentando así superposición entre rangos. Esto se traduce en una imposibilidad de estimación directa de la densidad vehicular a través de intervalos cerrados y disyuntos de la potencia de la señal.

CONCLUSIONES:

A partir de los ensayos realizados se puede concluir que el esquema de estimación de densidad de ocupación vehicular basado en análisis de la firma sonora es factible de ser implementado, con ciertas limitaciones en la precisión. No obstante, tratándose la densidad de una magnitud continua que en el contexto global del sistema es procesada a través de un algoritmo basado en lógica difusa, se considera que las imprecisiones de la medición son aceptables. Esto requerirá como trabajo a futuro el diseño y validación de una estrategia para estimación de la densidad basada en la probabilidad de pertenencia a una cantidad dada de vehículos, en función de la correlación encontrada entre éstas variables y la dispersión que presentan los datos.

Por todo lo expuesto, se puede aseverar que la técnica de bajo costo desarrollada en el presente trabajo para estimar la densidad de ocupación en una intersección de calles es factible de ser llevada a la práctica.