



6° Congreso Argentino de Ingeniería Aeronáutica VIRTUAL



17, 18 y 19 de Noviembre del 2021

Estudio de factibilidad para la implementación de un generador de eje vertical utilizando la velocidad de aire generada por el tránsito vehicular en rutas y autopistas

P. N. Bonfiglio⁽¹⁾, J. Sergio⁽¹⁾, V. Nadal Mora⁽²⁾, S. Pezzotti⁽²⁾, C. J. Bottero⁽³⁾

⁽¹⁾ Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ingeniería, La Plata, Buenos Aires, Argentina.

⁽²⁾ UIDET GTA-GIAI, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Buenos Aires, Argentina.

⁽³⁾ Centro Tecnológico Aeroespacial, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina.

Autores: bonpanah@gmail.com
jero.sergiou1@gmail.com

Palabras claves: energías renovables, mediciones, autopistas, adquisición.

Introducción

La actividad humana conlleva grandes consumos energéticos como, por ejemplo, usos residenciales, transporte, agricultura y demás actividades económicas. Asimismo, el acceso a la energía es un pilar básico para reducir la pobreza, mejorar las condiciones sanitarias y la calidad de vida. Previo a la pandemia global COVID-19, la Asociación Internacional de Energía estipulaba un crecimiento de la demanda mundial de energía en un 30% para el año 2040, debido al desarrollo de la economía mundial y al aumento de la población. Las elevadas emisiones de gases de efecto invernadero, producto del consumo intensivo de combustibles fósiles para cubrir la creciente demanda de energía, presentan desde hace tiempo efectos adversos sobre el medioambiente y son el motor principal del cambio climático [1]. En este marco, desde hace ya décadas, se está desarrollando un proceso de transición energética con el fin de mitigar la emisión de gases de efecto invernadero y cumplir con diversos acuerdos internacionales.

Una alternativa para generar cambios en la producción y distribución de energía puede estar dada a través de la utilización de los generadores eólicos pequeños. La Asociación Mundial de Energía Eólica emitió un reporte en el año 2017 sobre el estado de situación de la generación de energía llevada a cabo por pequeños equipos, siendo estos los generadores cuyo límite máximo de producción es de 100 kW [2]. En líneas generales, la tendencia a nivel global es de incrementar la generación de energía utilizando los equipos de baja potencia mencionados. Siguiendo estos lineamientos, surge la idea de utilizar como fuente de energía a las autopistas, instalando generadores de baja potencia, con el fin de recapturar parcialmente la energía no aprovechada por los vehículos que circulan a gran velocidad en las autopistas urbanas [3]. Dos indicadores que dan muestras del potencial disponible para esta aplicación en el contexto local, es el incremento de más del 60% del parque automotor nacional [4] y de la circulación en las autopistas del Área Metropolitana de Buenos Aires [5] en los últimos años. Es por esto que el objetivo general del presente trabajo se centra en el estudio de la factibilidad en la implementación de un generador de eje vertical en rutas o autopistas, con el fin de contribuir a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y proponer opciones de generación de energía renovable.

Para determinar la velocidad de aire desplazado por los vehículos al transitar una ruta, se realiza un relevamiento in situ. El procedimiento de trabajo fue el siguiente: se diseñaron los ensayos y un adquirente de datos, se realizaron los ensayos, se procesó la información obtenida, se analizaron los resultados, y finalmente se obtuvieron conclusiones sobre el estudio.

Diseño de los ensayos

El objetivo de los ensayos fue medir las velocidades del aire desplazado por vehículos que circulan en rutas y autopistas, para así conocer la capacidad potencial de generación de energía eléctrica.

Se escoge para efectuar la medición la Avenida 60 “Avenida del petróleo argentino” en el trayecto que se encuentra entre las calles 130 y 12 de octubre, de la localidad de Berisso. Se emplaza el punto de medición del lado de la mano en la que los vehículos circulan desde la ciudad de Berisso hacia la ciudad de La Plata.

El instrumental utilizado consta de dos anemómetros de copas marca Tecmes, modelo 231, con un rango de 0 a 66,77 m/s y una resolución de 0,3 m/s [6], un adquisidor de datos conformado por una placa micro procesadora marca Arduino UNO y una computadora portátil con el software MATLAB, una batería de 12 v, soportes para los anemómetros, cinta métrica con una resolución de 0,001 m y un cronómetro con una resolución de 0,01 s.

En la banquina se colocaron los dos anemómetros a las distancias verticales al suelo (S) que se muestran en la Tabla 1, emplazados a una distancia de 1,4 m con respecto al borde del carril, considerando que el primer anemómetro que mide el paso del vehículo es el Anemómetro A_0 . La distancia entre los sensores y la línea central del carril más próximo ($H1$) es de 3,15 m y de 6,65 m con respecto a la del carril más lejano ($H2$), representadas en la Figura 1 y resumidas en la Tabla 1.

Una variable de interés es la velocidad de circulación de los vehículos medidos. Para ello, se midió la separación entre dos señales (40,2 m) y se cronometró el tiempo que tardan los vehículos en recorrer esa distancia. Con los datos de tiempo y longitud se obtiene la velocidad de circulación, que se considera constante en el tramo de medición.

Tabla 1: Emplazamiento de los anemómetros A_0 y A_1 .

Anemómetro	S [m]	$H1$ [m]	$H2$ [m]
A_0	1	3,15	6,65
A_1	1,6		

El valor S de 1 m se eligió para comparar los valores de las mediciones con los resultados obtenidos de los ensayos realizados por Alonso et al. [7], Al-Aqel et al. [8], Santhakumar et al. [9] y Bani-Hani et al. [10]. El valor S de 1,6 m se corresponde con la altura media promedio de los aerogeneradores encontrados en el mercado de diámetro menor a 2 m, sumada a la altura de la barrera divisora de carriles, denominada New Jersey.

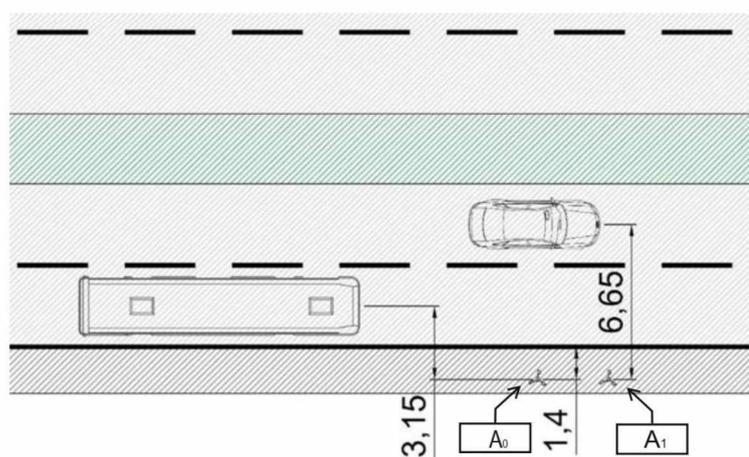


Figura 1: Esquema del emplazamiento de los anemómetros.

El procedimiento de los ensayos consistió en iniciar la recolección de datos al divisar un vehículo de interés desde antes de alcanzar la primera señal, y se tomó el tiempo que demoró el vehículo en transitar entre las 2 señales. Como resultado de esto se obtiene una serie de casos, en los cuales se agrupan los distintos vehículos medidos, junto a los resultados de sus velocidades de circulación.

Diseño del adquirente de datos

Al ser la señal de salida de los anemómetros analógica, los datos de tensión arrojados por ellos se introdujeron en una placa Arduino UNO y se utilizó la herramienta MATLAB para transformar dicha información en datos útiles para su posterior procesamiento. El diagrama de flujo de la información dentro del adquirente puede observarse en la Figura 2.

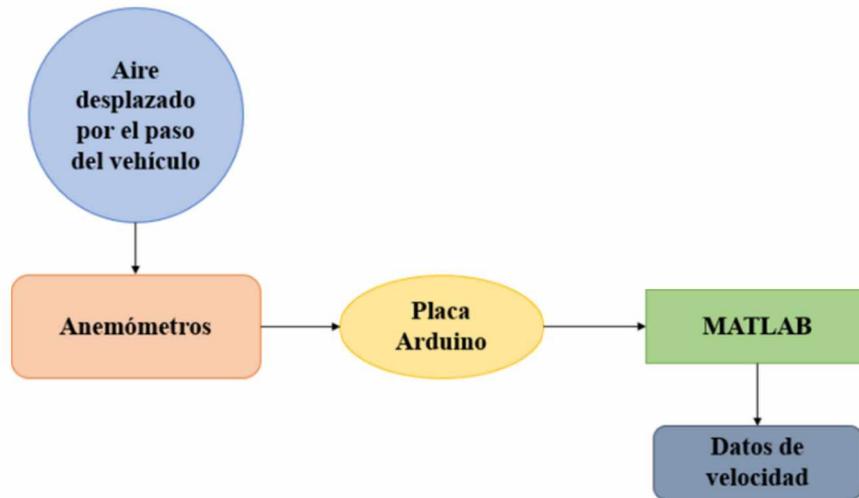


Figura 2: Estructura de funcionamiento del adquirente de datos.

La interfaz se elabora haciendo uso de las estructuras de Funciones que ofrece MATLAB y se observa en la Figura 3. Esta consta de dos **Gráficas** (1) y un **Cuadro de texto** (5) donde se observan los últimos valores de tiempo graficado, de velocidad y de tiempo real, dos ventanas para ingresar por un lado el período de visualización **Delta T** (2) y por el otro el **Tiempo de muestreo** (3) en el cual se adquieren datos, y por último una serie de comandos para llevar a cabo la adquisición y el posterior guardado de los datos, de (6) a (12).

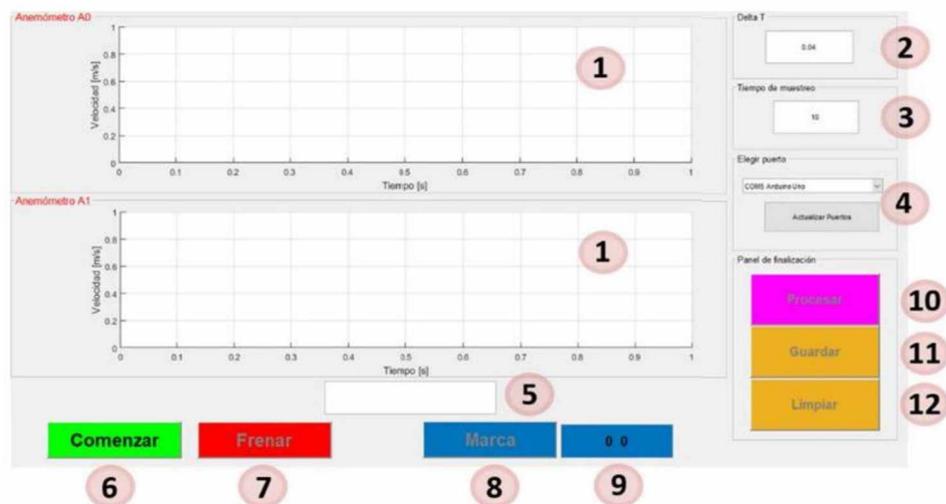


Figura 3: Visualización general de la interfaz generada.

Resultados

En la jornada de medición se adquirieron veinticuatro casos, contabilizando un total de cuarenta y nueve vehículos.

Ejemplos de casos

En la Figura 4 se observan los resultados del denominado Caso 4. En azul se grafican las velocidades obtenidas por los anemómetros y en rojo la velocidad media móvil. Por otra parte, las líneas punteadas, verticales y negras indican la marca de paso de los vehículos.

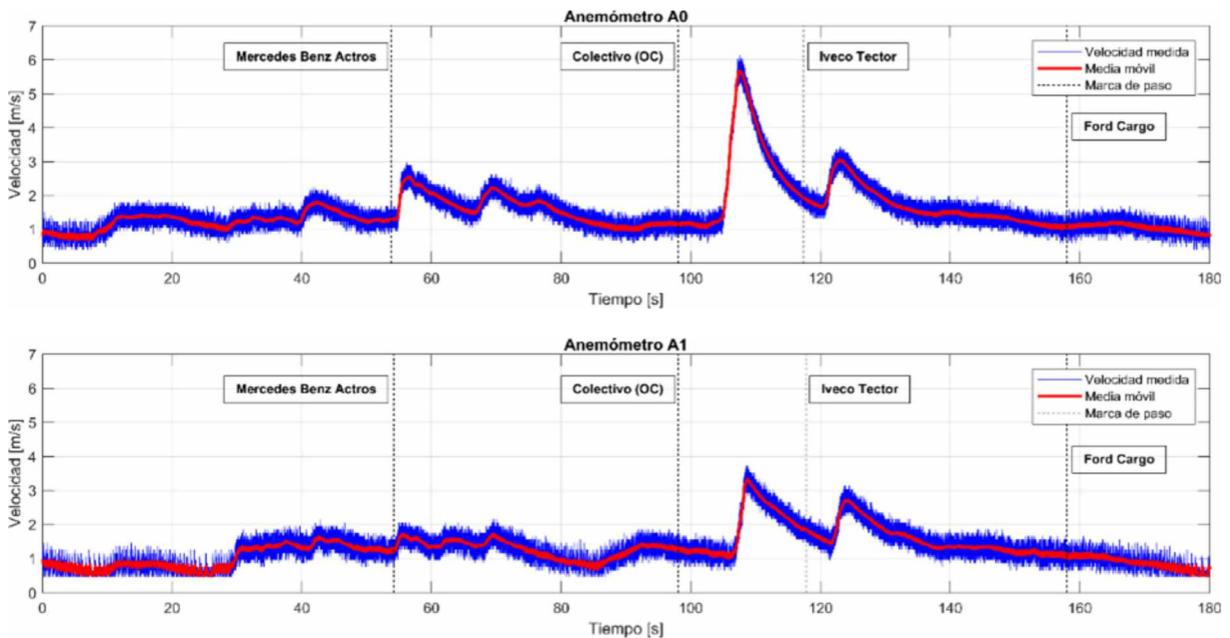


Figura 4: Caso 4 - Velocidad vs. tiempo.

Este caso es de interés ya que se observa al vehículo denominado Colectivo (OC), con el cual se midió la mayor velocidad de aire desplazado durante toda la jornada, alcanzando un pico de 6 m/s. Este vehículo circulaba por el carril más alejado a una velocidad calculada de 85 km/h. Por otro lado, es notorio que el paso de un Ford Cargo 915, vehículo de mediano porte, a 45 km/h no produjo un incremento significativo en las velocidades de aire desplazado medidas, hecho que se repitió para vehículos de características similares y a distintas velocidades, razón por la cual se decide no contemplarlos para futuros análisis.

Se decide incorporar un camión medido en una jornada anterior a la expuesta en este trabajo. El equipamiento y la metodología utilizada para adquirir la velocidad de aire desplazado por este vehículo son los mismos que los ya descritos anteriormente, sólo que no se calculó la velocidad de circulación. Para este Caso 25, que se observa en la Figura 5, el pico máximo de velocidad de aire desplazado alcanzada es de 8 m/s, siendo este el mayor valor medido en todas las jornadas.

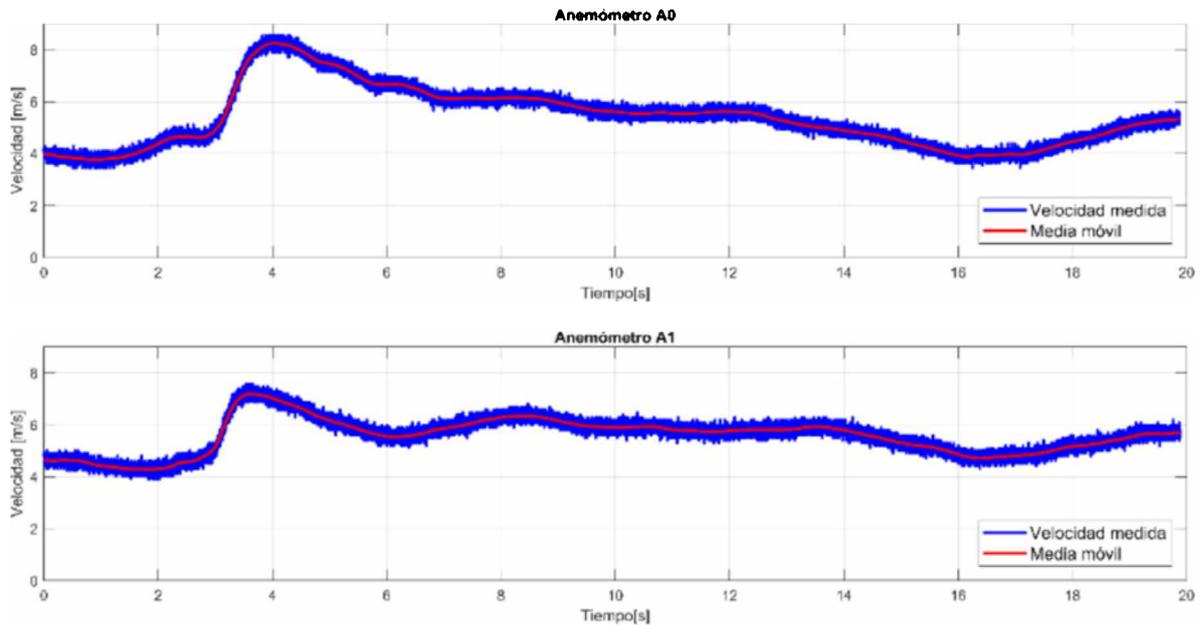


Figura 5: Caso 25 - Velocidad vs. tiempo.

Procesamiento

Obtenidos todos los casos se realiza el procesamiento de los datos siguiendo cuatro pasos. En el primer paso se aíslan los vehículos medidos en una ventana de tiempo de 20 s aproximadamente que se inicia con la marca de paso correspondiente. Luego, en el segundo paso, basándose en las velocidades de viento medidas y en las curvas de potencia de equipos aerogeneradores halladas en el mercado, se calculan la potencia y la energía que se generarían con los vehículos relevantes. Los vehículos relevantes son aquellos con los cuales la velocidad de aire desplazado medida por alguno de los anemómetros es igual o mayor a los 3 m/s. En el tercer paso, se escoge el equipo que más energía generaría. Por último, en el cuarto paso se presentan los resultados.

Siguiendo estos lineamientos, en la Figura 6 se observa en rojo la velocidad media móvil calculada a partir de la velocidad de aire desplazado por el Colectivo (OC) del Caso 4, y en violeta la potencia calculada que se generaría instantáneamente utilizando un aerogenerador Nemoi S, de la empresa Semtime, cuya velocidad de umbral de arranque es de 1,4 m/s. Esta velocidad de umbral se considera como el límite inferior de velocidad para la generación de energía del equipo. A partir de la potencia que se generaría en esta ventana de tiempo, la energía que sería posible generar utilizando el Nemoi S es de 0,0625 Wh considerando las velocidades medidas por el anemómetro A_0 .

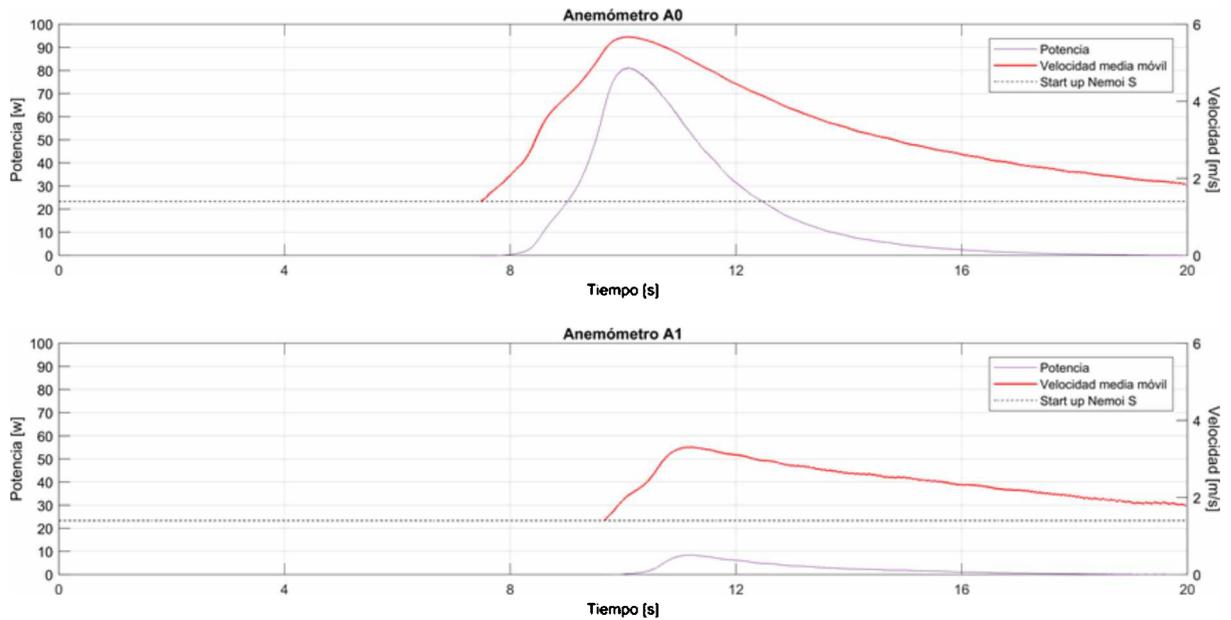


Figura 6: Colectivo (OC) - Nemoi S - Potencia y Velocidad vs. Tiempo.

Para el Camión del Caso 25, el procesamiento de los datos se observa en la Figura 7. A partir de la potencia que se generaría en esta ventana de tiempo, la energía disponible utilizando un Nemoi S sería de 0,458 Wh, considerando las velocidades medidas por el anemómetro A₀.

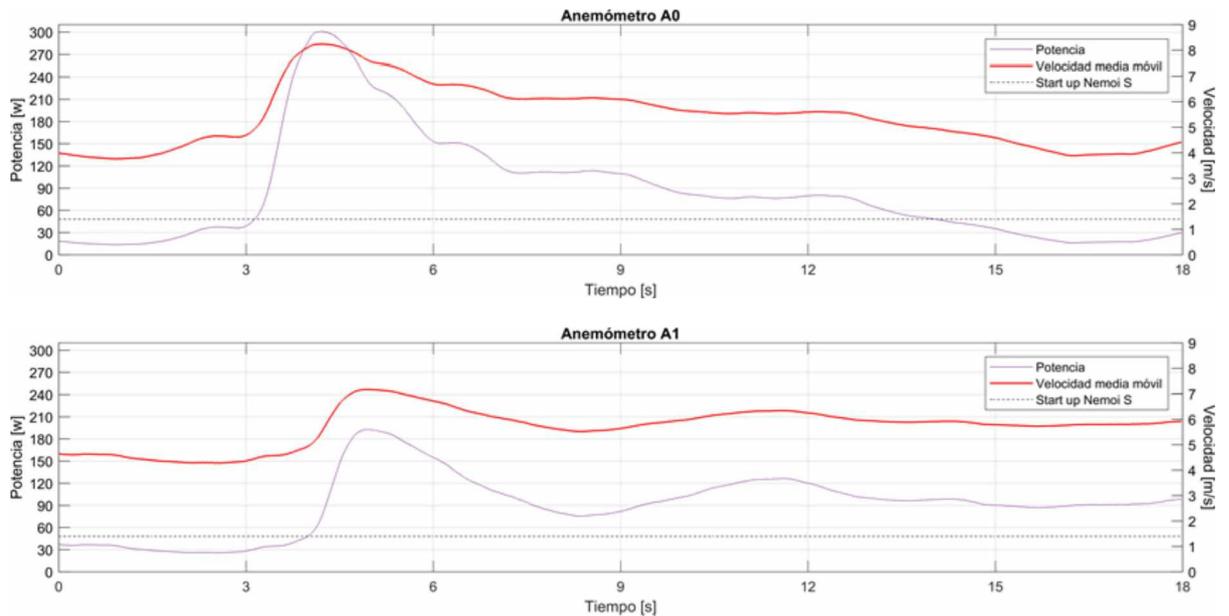


Figura 7: Camión - Nemoi S - Potencia y Velocidad vs. Tiempo.

Con el Camión del Caso 25 se confecciona un Caso hipotético en el cual se asume un tráfico ideal de dos vehículos por minuto y se calcula la energía que se generaría utilizando un aerogenerador Nemoi S en el lapso de 24 h, obteniéndose un valor de 1.396 Wh. Si se considera que la energía necesaria para abastecer un poste con dos luminarias de 100 W funcionando 12 h es de 2.400 Wh, con el tráfico asumido se abastecería el 58% del total de la energía demandada.

A partir del cuadro tarifario de la Empresa Distribuidora La Plata Sociedad Anónima, EDELAP, aprobado para el año 2021 [11] se obtiene el cargo variable del usuario que utiliza el suministro de

energía eléctrica para el Servicio Público de Alumbrado y Señalamiento Luminoso y se determina que para un poste con las características mencionadas el costo es de ARG\$ 9,12. El ahorro que se generaría en el consumo, con el tráfico asumido y el equipo de generación utilizado, es de ARG\$ 5,28. Si se consideran los costos calculados, que se mantiene constante el valor del dólar y del cargo variable del cuadro tarifario, que la vida útil del equipo es de veinte años y que posee un valor de ARG\$ 355.500, la amortización de la inversión sería de un 10% durante la vida esperada del equipo. Este análisis deja de lado otros costos asociados a la instalación del equipo y el mantenimiento.

Conclusiones

Del estudio realizado se desprende que el foco debe colocarse sobre la generación de energía mediante la circulación de vehículos de gran porte. Con los métodos aplicados en el presente informe, para los vehículos de mediano y pequeño porte no fue posible detectar perturbaciones significativas.

De la comparación con los trabajos de Alonso et al. [7] y de Al Aqel et al. [8] se infiere por un lado que la velocidad de circulación de los vehículos es la responsable de la diferencia existente entre los 10-12 m/s que obtienen en [7] y los valores máximos arrojados por los vehículos del presente trabajo, de los que solamente uno alcanza los 8 m/s de velocidad de aire desplazado. Por otro lado, los resultados que se obtienen en las mediciones efectuadas por [8] a 1 m de altura se asemejan en mayor medida a las velocidades que se obtienen en el presente informe.

Si bien es factible generar energía aprovechando el paso de vehículos de gran porte a gran velocidad, del breve análisis económico se desprende que con el equipo aerogenerador seleccionado no es rentable la generación de energía utilizando la velocidad del aire desplazado por el paso de los vehículos en rutas y autopistas. Sería menester considerar la utilización de equipos de menor costo, que no requieran ser importados, así como también analizar otras estrategias, como ser la instalación de los generadores en zonas de túneles, analizar la capacidad de generación en autopistas con más tránsito; estudiar la implementación en subterráneos, entre otros, lo que abre las puertas a futuros trabajos.

Referencias

- [1] CO2 - Emissions (2018). [Online]. Disponible: <http://www.globalcarbonatlas.org/es/CO2-missions>. [Accedido: 11-Nov-2020].
- [2] Inter Solar, “2017 Small Wind World Report - Summary,” 2017.
- [3] Ishugah, T. F., Li, Y., Wang, R. Z. and Kiplagat, J. K. (2014). Advances in wind energy resource exploitation in urban environment: A review. *Volumen 37*, 613–626.
- [4] Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires (2020). Parque automotor.
- [5] Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires (2020). Circulación de vehículos.
- [6] Tecmes Instrumentos Especiales SRL. TS 231 - Anemómetro - Manual del usuario. Rev. 04, 8.
- [7] Alonso-Estébanez, A., Pascual-Muñoz, P., Yagüe, C., Laina, R. and Castro-Fresno, D. (2012). Field experimental study of traffic-induced turbulence on highways. *Atmospheric Environment*, Volumen 61, 189–196.
- [8] Al-Aqel, A. A., Lim, B. K., Noor, E. E. M., Yap, T. C. and Alkaff, S. A. (2017). Potentiality of small wind turbines along highway in Malaysia. *Proceedings of 2016 International Conference on Robotics, Automation and Sciences, ICORAS 2016*, 1–6.
- [9] Santhakumar, S, Palanivel, I and Venkatasubramanian, K. (2018). An experimental study on the rotational behaviour of a Savonius wind turbine for two-lane highway applications. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, Volumen 40.
- [10] Bani-Hani, E. H., Sedaghat, A., Al-Shemmary, M., Hussain, A., Alshaieb, A. and Kakoli, H. (2018) Feasibility of Highway Energy Harvesting Using a Vertical Axis Wind Turbine. *Energy Engineering Journal Association of Energy Engineers*, Volumen 115, 61–74.
- [11] EDELAP. Cuadro Tarifario de Edelap – 2021. 2021.