

Factibilidad Técnica y Económica de Implementar un Sistema Energy Harvesting con Generadores Piezoeléctricos, en una Zona de Alto Tráfico Vehicular de la Ciudad de Cali

Francisco Ríos Quintero, Pablo Alejandro Fernández Quina

Ingeniería industrial, facultad de ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana Cali, Colombia.

Tel: 317 2950343 E-mail: francisco.riosq@gmail.com ; Tel:311 7977155 E-mail: pabloquina@gmail.com

Resumen:

Se estudió la posibilidad de implementación de un sistema Energy Harvesting con generadores piezoeléctricos, en zonas de alto tráfico vehicular de la ciudad de Cali, mediante un proyecto, desarrollado a través de las fases de caracterización de vehículos y escenarios seleccionados, diseño de las vías con su respectiva estimación de costos asociados, simulación de la generación eléctrica del sistema a través de un modelo desarrollado en Microsoft Excel y además un análisis económico para determinar la viabilidad de desarrollar en uno de los escenarios previstos este proyecto.

Mediante la caracterización se pudo determinar que en la Autopista circulan aproximadamente 78.955 automotores, siendo el corredor vial de mayor circulación diaria entre los escenarios analizados. A través de la fase de diseño se determinó que el escenario que representa mayor inversión, requiere de un tiempo de instalación de 170 días, 1667 módulos instalados y un costo de \$3.045.528.750 COP.

Con las simulaciones realizadas se pudo establecer que los escenarios pueden generar hasta 23.524 kWh por día, con lo cual se puede abastecer 139 viviendas con un consumo promedio de 170 kWh. Finalmente, mediante el análisis financiero realizado se encontró que la Autopista es el escenario que representa mayor potencial económico, dado que al obtener un indicador TIR (21,23%) superior al WACC (16%) planteado, representa obtener una rentabilidad superior a la esperada, lo cual puede notarse mediante el VPN positivo obtenido por valor de \$1.531.853.418 COP.

Introducción:

El proyecto investigación pretende establecer la viabilidad técnica y económica de implementar el sistema de generación, para lo cual se tomarán tres escenarios que cumplan con los parámetros de alto flujo y velocidad media de vehículos. Se plantean una serie de etapas para la ejecución del proyecto, empezando por la caracterización estadística, con lo cual se obtuvo los parámetros de flujo y tipificación de los vehículos en cada uno de los escenarios. A continuación, se diseña el sistema de generación con todas sus características, estimando tiempos de obra y presupuesto. Además, se incluyen simulaciones del sistema y un análisis financiero de los flujos económicos

del proyecto, con lo cual es posible estimar la rentabilidad mediante diferentes indicadores económicos.

Fundamentación Teórica:

Teniendo en cuenta que el tipo de vehículos que transitan mayormente por los escenarios seleccionados son de dos ejes, se genera un pulso de energía ejecutado por cada eje, para lo cual es necesario calcular la potencia promedio generada (P_{avg}), como puede verse en la figura 1.

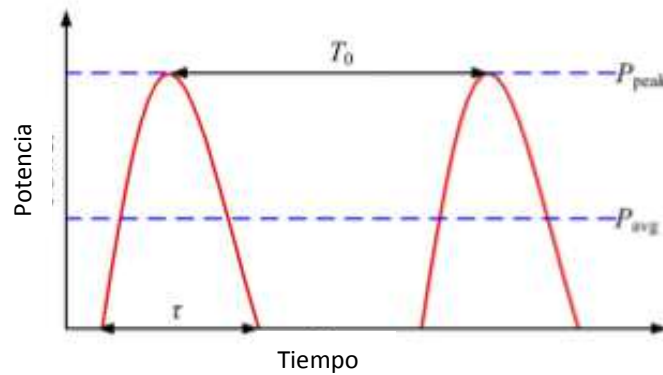


Figura 1. Pulso Generado por vehículo de dos ejes (Jiang, Li, Li, Wang, & Yao, 2014)

Para determinar la potencia promedio aproximada por cada tipo de vehículo se hace uso de la ecuación (1), donde el periodo T_o es determinado por la distancia entre ejes de cada tipo de vehículo y su velocidad, el pulso de longitud τ es determinado por la zona de contacto (perímetro) del neumático y la velocidad del vehículo y P_{peak} es la potencia máxima generada por el paso de un vehículo sobre el dispositivo.

$$P_{avg} = \frac{\tau}{T_o} P_{peak} \quad (1)$$

Para efectos de este proyecto el T_o , se determinó mediante la distancia promedio entre ejes de cada tipo de vehículo estudiado, de igual forma la velocidad promedio se asume a través de la información captada de Google Maps.

El P_{peak} se determinó de acuerdo a la fuerza que imprime cada categoría de vehículo y la potencia generada de acuerdo a los análisis de laboratorio realizados en el artículo de la tecnología seleccionada como se muestra en la siguiente figura:

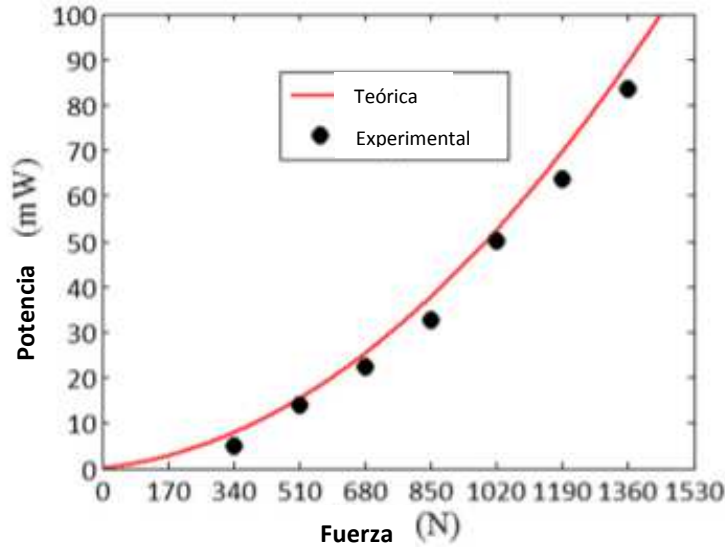


Figura 2. Potencia Teórica Vs. Experimental (Jiang, Li, Li, Wang, & Yao, 2014)

Partiendo de la figura 2, se obtuvo puntos de referencia para replicar dicha gráfica y poder determinar la ecuación experimental que se muestra a continuación:

$$Z = 4E-05x^2 + 0,0103x - 2,2619 \quad (2)$$

Partiendo de la ecuación (2), donde X es la variable que representa la fuerza que ejerce el eje del vehículo sobre los dispositivos, se determinó el P_{peak} para cada una de las categorías analizadas en este proyecto.

Resultados:

A continuación se presenta la rutina de cálculos para las categorías Carro y Camión y los parámetros requeridos, los cuales se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Parámetros para rutina de cálculo.
Fuente: El autor

Tipo de vehiculo	Peso promedio (kg)	Peso por eje (kg)	Fuerza por eje (N)	Velocidad (km/h)	τ (s)	To (s)
Carro	1.148	574	5.606	60	0,012	0,15
Camion	4.047	2.023	19.767	60	0,012	0,23

En primera instancia se procede a realizar el cálculo de la potencia pico (P_{peak}), mediante la ecuación (2) de la curva del valor experimental determinada en la figura 2. Con lo cual, realizando los cálculos pertinentes se obtiene los valores para las dos categorías analizadas en la tabla que se presenta a continuación:

Tabla 2. Potencia máxima generada por categoría de vehículo.
Fuente: El autor

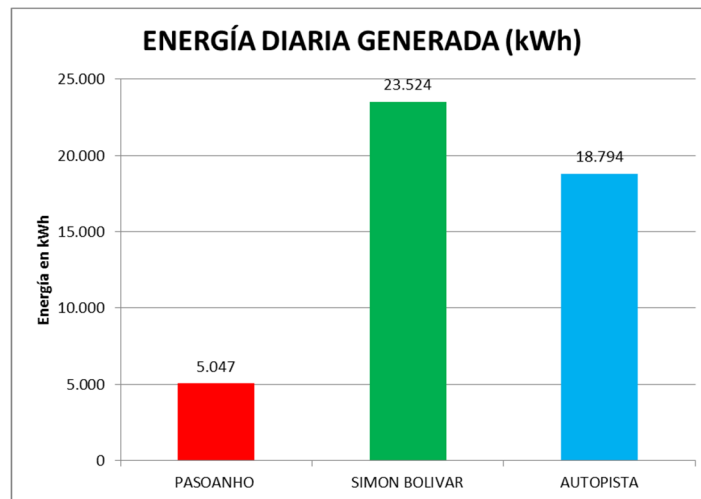
P_{peak} carro (W)	1,31
P_{peak} camion (W)	15,83

Posteriormente se procede a realizar el cálculo de la potencia promedio (P_{avg}), mediante el uso de la ecuación uno (1). Para esto se toman los valores de τ y T_o para una velocidad de 60km/h, con lo cual reemplazando los valores pertinentes a estas dos variables en la ecuación uno (1) se obtiene los resultados expuestos en la siguiente tabla.

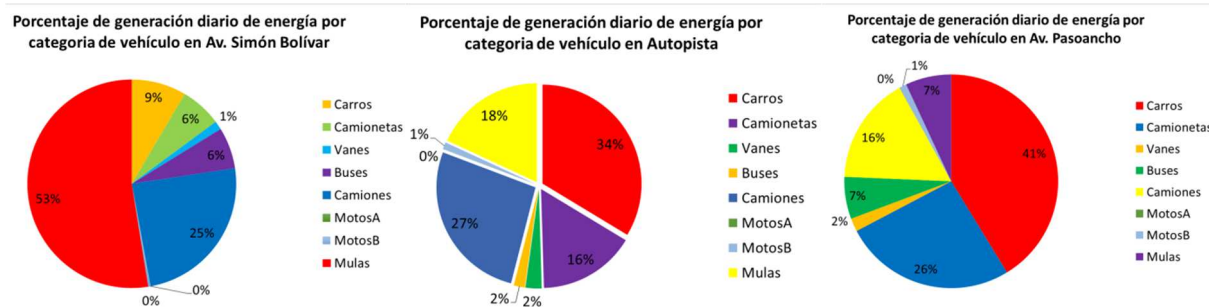
Tabla 3. Potencia promedio generada por categoría de vehículo.
Fuente: El autor

P_{avg} Carro (W)	0,11
P_{avg} camion (W)	0,83

Se aplicó la rutina de cálculos explicada anteriormente a las 6 tipos de categorías tenidas en cuenta y tomando los datos de la caracterización estadística de flujo y tipificación realizada para cada uno de los escenarios, con lo cual se obtuvo los resultados de la simulación expuestos en la gráfica 1 y grafica 2.



Grafica 1. Comparación de energía generada diariamente por escenario.
Fuente: El autor



Grafica 2. Porcentaje de generación diario de energía por categoría de vehículos para los tres escenarios seleccionados.
Fuente: El autor

Discusión y Conclusiones:

1. Por medio del muestreo realizado se consiguió caracterizar estadísticamente los escenarios, logrando cuantificar el flujo vehicular y calcular la participación de cada una de las categorías de vehículos planteados, obteniendo como resultado que en la Autopista circulan aproximadamente 78.955 automotores, siendo el corredor vial de mayor circulación diaria entre los escenarios analizados y por el cual transitan 2554 automóviles cada hora, convirtiéndose en la categoría de mayor aporte en este escenario.
2. Se diseñaron los escenarios de dos y tres carriles con los módulos piezoeléctricos instalados en el pavimento a través del software SketchUp, especificando las características de cada una de las vías y determinando el costo y tiempo de ejecución, lo cual derivó como resultado más representativo que la Av. Simón Bolívar requiere un tiempo de instalación de 170 días, 1667 módulos instalados y un costo de \$3.045.528.750 COP.
3. Se simuló el sistema diseñado de acuerdo a los parámetros obtenidos en cada escenario para calcular la energía generada, determinando que el escenario que más presentó generación de energía fue la Av. Simón Bolívar con 23.524 kWh por día, con lo cual se puede abastecer 139 viviendas con un consumo promedio de 170 kWh.
4. Se estimó la rentabilidad de los escenarios, obteniendo como resultado que el escenario que presenta mayor potencial para desarrollar el proyecto es la Autopista, dado que al obtener un indicador TIR (21,23%) superior al WACC (16%) planteado, representa obtener una rentabilidad superior a la esperada, lo cual puede notarse mediante el VPN positivo obtenido por valor de \$1.531.853.418 COP.
5. Dado el potencial económico y energético del sistema, la industria debe realizar un estudio y encontrar la forma de masificar la producción de dispositivos piezoeléctricos, ya que actualmente no existe un proveedor de esta clase de tecnología y es la principal razón por la cual hace que la fabricación de estos elementos resulte costosa y de acceso limitado.

Referencias

Jiang, X., Li, Y., Li, J., Wang, J., & Yao, J. (2014). Piezoelectric energy harvesting from traffic-induced pavement vibrations. *JOURNAL OF RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY*, 1-16.