

Consideraciones generales y resultados del primer año de operación de un bus articulado eléctrico en el sistema BRT Metroplús de Medellín

Diego Armando Vargas R.¹

Artículo de investigación



Fecha de recepción: mayo del 2018 ▪ **Fecha de aceptación:** junio del 2019

Vargas, D. A. (2019). Consideraciones generales y resultados del primer año de operación de un bus articulado eléctrico en el sistema BRT Metroplús de Medellín. *Revista de Investigaciones de Uniagraria*, 7(1), 113-120.

Resumen

La vinculación de nuevas tecnologías a los diferentes sistemas de transporte terrestre representa para la academia una gran oportunidad que abre espacio a investigaciones aplicadas que evalúen, desde diversos ángulos, los factores que hacen parte de los procesos y las consecuencias que pueden venir implícitas de la mano de estos.

Con el presente se realiza una revisión de aspectos generales ligados a la vinculación y al primer año de operación del bus articulado con tecnología eléctrica al sistema de transporte masivo BRT Metroplús de Medellín, en Colombia.

El bus eléctrico modelo kf1 llegó a Medellín en febrero del 2018, pero comenzó operación en el sistema BRT hasta abril del mismo año, desde entonces se ha realizado seguimiento a las variables de operación con el fin de dar un concepto basado en la metodología de evaluación técnica y económica de proyectos propuesta por Karen Mokate.

Al cierre de los primeros 10 meses se puede tomar evidencia que, sin ser del todo concluyente, permite emitir un concepto de evaluación favorable de la operación de este tipo de vehículos en un sistema de transporte masivo como el de la ciudad de Medellín.

Palabras clave: BRT, eléctricos, Capex, OPEX, transporte, autonomía, regeneración.

¹ Ingeniero de producción, especialista en gestión de proyectos de ingeniería, Magíster en Gestión Ambiental, Magíster en Ingeniería de Procesos, candidato a doctor en ingeniería en la Universidad de Cádiz. Docente para la dirección de investigaciones de Unitec, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: ingprodvargas@gmail.com

General considerations and results of the first year of operation of an electric articulated bus in the Metroplus, Medellín BRT system

Abstract

The introduction of new technologies for buses in the different land transport systems represents a great opportunity for the academy, opening up space for applied research that evaluates from different angles the factors that are part of the processes and the consequences that may implicitly come hand in hand with these.

With this, a review of general aspects linked to the connection and first year of operation of the articulated bus with electric technology in the BRT Massive transport system Metroplus of Medellín, Colombia.

The KF1 model electric bus arrived in Medellín in February 2018, but it started operating in the BRT system until April of the same year; since then it has been monitoring the operation variables, in order to give a concept based on the methodology of technical and economic evaluation of projects proposed by Karen Mokate.

At the end of the first 10 months, evidence can be taken, which, although not entirely conclusive, allows the issuance of a favorable evaluation concept for the operation of this type of vehicle in a mass transit system such as that of the city of Medellín.

Keywords: BRT, electric, Capex, OPEX, transport, autonomy, regeneration.

Introducción

El transporte representa el 64 % del consumo final de petróleo, además, representa el 14 % de todas las emisiones de gases de efecto invernadero. En términos de contaminación atmosférica, este representa el 16 % del material particulado pm10 y el 19 % de las partículas más pequeñas, que en realidad son las que perjudican la salud de los seres vivos. Por otro lado, el transporte representa el 61 % de las emisiones de óxido de nitrógeno, ya sean monóxidos o dióxido, que son los causantes de picos de ozono.

La presente investigación contiene información general de la revisión de los diferentes aspectos relacionados con la vinculación y el primer año de operación de un bus articulado eléctrico en el sistema de transporte masivo BRT Metroplús de Medellín

Descripción de los objetivos

Objetivo general

Consolidar una revisión de los aspectos generales y las implicaciones de la vinculación y el primer año de operación de un bus articulado con tecnología eléctrica en el sistema BRT de Medellín.

Objetivos específicos

1. Realizar una consolidación conceptual de los sistemas BRT en Colombia.
2. Detallar las implicaciones técnicas de la oferta de tecnologías eléctricas disponibles para los diferentes sistemas BRT.
3. Exponer los resultados generales del primer año de operación del bus articulado eléctrico en el sistema BRT de Medellín.
4. Emitir un concepto frente a la evaluación técnica y económica de la vinculación de buses eléctricos en el sistema BRT de Medellín.

Metodología

El proceso cita los conceptos de investigación documental que busca el análisis de información escrita sobre un determinado tema, en este caso las pruebas de operación de un bus eléctrico articulado en el sistema de transporte masivo terrestre en la ciudad de Medellín. También se recogen elementos de la investigación de campo que se efectúa sobre el lugar y el tiempo en que ocurren los fenómenos objeto de estudio.

Con lo anterior, se da paso a un enfoque correlacional de tipo mixto que examina la relación entre diversas variables del proceso, las cuales pueden ser cualitativas o cuantitativas, y que se orientan principalmente a profundizar sobre casos específicos. La investigación se enmarca en el análisis cuantitativo experimental, con la aplicación de la metodología de evaluación económica de proyectos planteada por Karen Mokate (2004).

Se plantea como metodología el estudio de caso: “una estrategia de investigación dirigida a comprender las dinámicas presentes en contextos singulares”, lo que podría elevarse al estudio de las experiencias de prueba realizadas en diversos sistemas de transporte masivo y de este modo revisar en contexto los aspectos generales de la vinculación de tecnologías eléctricas.

Para la presente investigación, se tomó como referencia el análisis cualitativo y cuantitativo de la experiencia de operación del bus articulado eléctrico en el sistema de transporte masivo de la ciudad de Medellín y se analizaron las variables de operación, para lo cual se realizó un trabajo de campo con la empresa operadora, buscando una aproximación lo más cercana posible a los detalles de dicha experiencia:

- Rutas típicas
- Kilómetros de operación
- Tiempos de operación

- Características geográficas
- Total de kilómetros recorridos
- Conglomerado de costos de operación

Finalmente se hizo una comparación con los costos de operación reportados por otro tipo de tecnologías en operación y se emitió un concepto respecto a la vinculación de tecnologías eléctricas en sistemas BRT.

Resultados parciales o finales

Actualmente existen en Colombia un total de siete sistemas BRT que prestan servicios de transporte público de pasajeros en ciudades principales como Bogotá y Medellín, y en ciudades intermedias como Pereira y Bucaramanga.

Los sistemas de Bogotá y Medellín presentan las condiciones de operación más exigentes:

Tabla 1. Descripción general de sistemas BRT

Sistema	Longitud de troncales	Estaciones	Pendiente máxima	Velocidad comercial promedio
Transmilenio	112,9	147	14%	18 km./h
Metroplús	27	27	17%	35 km./h

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Descripción técnica de los sistemas BRT

Sistema	Flota de articulados y biarticulados	Promedio km./día/bus	Pasajeros/bus/día
Transmilenio	1765	266	1184
Metroplús	65	270	1600

Fuente: elaboración propia.

En la actualidad, operan únicamente cuatro unidades con tecnología eléctrica:

Tabla 3. Distribución de buses eléctricos por tipología en sistemas BRT de Colombia

Tipología	BRT	Cantidad
Articulado	Transmilenio - Bogotá	1
Articulado	Metroplús - Medellín	1
Padrón	Transmilenio - Bogotá	1
Padrón	mío - Cali	1

Fuente: elaboración propia.

La vinculación de unidades con tecnología eléctrica a los BRT en Colombia se ha visto desmotivada por las diferencias relevantes en el Capex (costo de inversión inicial), que en la actualidad se presenta con una relación aproximada de 2,1 a 1, esto sumado a los incentivos minúsculos ofrecidos a modo de impuestos u otros que pudiesen ser relevantes para suavizar

el modelo económico. No obstante, tras finalizar los primeros 10 meses de operación del bus articulado eléctrico en el sistema Metroplús de Medellín, los resultados demuestran que el OPEX (costo de operación) se presenta con una diferencia porcentual a favor de la tecnología eléctrica, lo que permite amortiguar el modelo y lograr en el tiempo una viabilidad económica.

Tabla 4. Características de rutas desarrolladas

Ruta	Tipo de ruta	Distancia [km.]	N.º de paradas
Línea 1	Corriente	25	40

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5. Kilometraje de recorridos

Mes	Km. inicial	Km. final	Km. recorrido
May-18	2773	7048	4275
Jun-18	7048	13 217	6169
Jul-18	13 217	19 469	6252
Ago-18	19 469	25 769	6300
Sep-18	25 769	32 911	7142
Oct-18	32 911	40 366	7455
Nov-18	40 366	46 727	6361
Dic-18	46 727	54 007	7280
Ene-19	54 007	60 831	6824
Feb-19	60 831	62 256	1425

Fuente: elaboración propia.

Tabla 6. Eficiencias en consumo energético

Mes	Kilómetros recorridos	Consumo kwh	Eficiencia kwh/km.	Costo energético (\$476/kwh)	(\$/km.)
May-18	4275	5501	1,29	\$ 2 618 476	\$ 612,5
Jun-18	6169	7471	1,21	\$ 3 556 291	\$ 576,5
Jul-18	6252	7506	1,20	\$ 3 572 856	\$ 571,5
Ago-18	6300	9209	1,46	\$ 4 383 436	\$ 695,8
Sept-18	7142	9241	1,29	\$ 4 398 478	\$ 615,9
Oct-18	7455	8853	1,19	\$ 4 214 171	\$ 565,3
Nov-18	6361	8987	1,41	\$ 4 277 717	\$ 672,5
Dic-18	7280	9715	1,33	\$ 4 624 416	\$ 635,2
Ene-19	6824	9166	1,34	\$ 4 362 778	\$ 639,3
Feb-19	1425	2046	1,44	\$ 973 658	\$ 683,3

Fuente: elaboración propia.

Tabla 7. Costos por mantenimiento

Mes	Correctivo	Preventivo	Alistamiento	Total	Kilómetros recorridos	(\$/km.)
May-18	\$ 32 000	\$ 1 491 000	\$ 550 400	\$ 2 073 400	4275	\$ 485,0
Jun-18	\$ 651 905	\$ -	\$ 639 360	\$ 1 291 265	6169	\$ 209,3
Jul-18	\$ 314 700	\$ 1 069 000	\$ 661 120	\$ 2 044 820	6252	\$ 327,1
Ago-18	\$ 204 800	\$ -	\$ 661 120	\$ 865 920	6300	\$ 137,4
Sept-18	\$ 128 550	\$ 1 389 000	\$ 640 000	\$ 2 157 550	7142	\$ 302,1
Oct-18	\$ 12 800	\$ -	\$ 661 120	\$ 673 920	7455	\$ 90,4
Nov-18	\$ 316 890	\$ 1 325 000	\$ 640 000	\$ 2 281 890	6361	\$ 358,7
Dic-18	\$ -		\$ 661 120	\$ 661 120	7280	\$ 90,8
Ene-19	\$ 224 000	\$ 632 900	\$ 661 120	\$ 1 518 020	6824	\$ 222,5
Feb-19	\$ -	\$ 1 325 000	\$ 597 120	\$ 1 922 120	1425	\$ 1 348,9
Total	\$ 1 885 645	\$ 7 231 900	\$ 6 372 480	\$ 15 490 025	59 483	\$ 260,4

Fuente: elaboración propia.

Tabla 8. Comparación del conglomerado de costos de operación entre tecnologías tradicionales y buses eléctricos

Costo	Diferencia porcentual
Combustible	-55 %
Mantenimiento	-76,3 %

Fuente: elaboración propia.

Adicional a lo anterior, se deben mencionar los beneficios de orden social y ambiental que conllevan a la vinculación de tecnologías eléctricas a un sistema BRT:

- La reducción de emisión de materiales particulados contaminantes que según estudios representan uno de los factores que más influyen en las altas tasas de enfermedades respiratorias a nivel mundial.
- La reducción en las vibraciones y el nivel de ruido al que se verían expuestos los usuarios y los conductores de los vehículos, estos representan factores a considerar en la evaluación.

Recomendaciones

- La evaluación de factibilidad para la vinculación de tecnologías eléctricas en los sistemas de transporte masivo no se puede limitar a una validación netamente financiera, sino que se deben desarrollar modelos específicos de evaluación que contemplen dentro de sus aspectos, variables de tipo social y ambiental que suavicen el modelo.
- Se debe realizar el análisis comparativo de tecnologías tradicionales y eléctricas para tipologías diferentes a los buses articulados en sistemas BRT del país.
- Es necesario desarrollar pruebas para la vinculación de vehículos con tecnologías eléctricas en sistemas de transporte

diferentes a los BRT, como los sistemas de transporte especial, transporte interciudades, logísticos de reparto y de logística interna en procesos industriales, con el fin de evaluar las condiciones, el desempeño y el impacto sobre los niveles de productividad.

Referencias bibliográficas

Centro de Investigaciones para el Desarrollo. (2017). *Monitoreo de las condiciones técnicas y operacionales del Piloto Bus Eléctrico Articulado en el Sistema Troncal TransMilenio* (informe), Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

Behrentz, E. (2009). *Impacto del sistema de transporte en los niveles de contaminación percibidos por los usuarios del espacio público*. Bogotá: Editorial Universidad de los Andes.

Mokate, K. (2004). *La evaluación socioeconomica de proyectos de inversión: El estado del arte*. Bogotá: Editorial Universidad de los Andes.

Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional. (2014). *Productos analíticos para apoyar la toma de decisiones sobre acciones de mitigación a nivel sectorial* (resumen ejecutivo). Bogotá, Colombia: Editorial Universidad de los Andes.

Grütter, J. (2006). *Líneas base en proyectos de transporte urbano*. Grütter consulting.

Puliafito, S. y Castesana, P. (2010). Emisiones de carbono del sector transporte en Argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 14, 1-8.

Salon, D. y Shewmake, S. (2010). *Opportunities for value capture to fund public transport: A comprehensive review of the literature with a focus on East Asia*. Asia: Institute for Transportation and Development Policy and ADB.

Rodríguez, P. y Behrentz, E. (2009). *Actualización del inventario de emisiones de fuentes móviles de la ciudad de de fuentes móviles de*

la ciudad de Bogotá. Bogotá: Editorial de la Facultad de Ingeniería Universidad de los Andes.

IPCC. (2014). Summary for Policymakers. En O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel y J. Minx (eds.), *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Reino Unido: Cambridge University Press.