

Impacto de un sistema de transporte tipo Cable sobre la movilidad urbana. Caso Manizales (Colombia)

Impact of a Cable transport system on the urban mobility. Manizales Case (Colombia)

Diego Alexander Escobar García. Ph.D.^{1*}; Francisco Javier García Orozco Ph.D.^{2*}

¹ *Docente investigador Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Colombia, Manizales - Colombia. *daescobarga@bt.unal.edu.co*

² *Docente investigador Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Colombia, Manizales - Colombia. *fjgarciaor@bt.unal.edu.co*

Fecha de recepción del artículo:

: Fecha de aceptación del artículo:

Resumen

La conformación urbanística de la ciudad de Manizales responde a la adaptación a una topografía quebrada y abrupta. Ubicada en el filo de una colina, permite una apertura al paisaje a lo largo de su recorrido, teniendo que el crecimiento urbanístico se debió adaptar a las condiciones topográficas, generándose una estructura urbana discontinua.

A finales del año 2009, la administración local construyó un sistema de cable que une el centro de la ciudad con el nuevo terminal de transportes. En este artículo se evalúa el impacto producido por la construcción de la primera línea de cable aéreo respecto a los tiempos medios de viaje invertido por los pobladores; se realiza una comparación de los tiempos medios de viaje (sin cable y con cable) respecto a las variables: área, población y número de viviendas cubiertas. Se hace uso de la metodología de análisis de accesibilidad territorial por medio de técnicas geoestadísticas.

Palabras clave

Accesibilidad, evaluación de impacto, cable, cobertura, movilidad.

Abstract

The urban development of Manizales city responds to adapt to an abrupt and rugged topography. Located on the edge of the hill, allowing an opening to the landscape along its route, the urban growth had to adapt to the conditions topographic, generating a discontinuous urban structure.

At the end of 2009, local government built a cable system linking the downtown with the new transport terminal. This article assesses the impact caused by the construction of the first aerial tramway over the means travel time spent by residents, is a comparison of means travel times (with and without aerial tramway) for the variables: area, population and number of households covered. It makes use of the methodology of territorial accessibility analysis using geostatistical techniques.

Keywords

Accessibility, impact assessment, cable, coverage, mobility.

1. Introducción

Manizales (370.000 hab. aprox.) se encuentra ubicada en la región centro occidente de Colombia, a una altura de 2.150 msnm, sobre la prolongación de la cordillera andina; se localiza en el centro geográfico de las tres ciudades más importantes de Colombia: Bogotá, D.C. (a 275 km), Medellín (a 180 km) y Cali (a 300 km). La primera línea de cable aéreo complementa el sistema de Transporte Público Colectivo Urbano (TPCU) y fue construido con el fin de proporcionar una comunicación más rápida y expedita entre el CBD de la ciudad y el nuevo terminal de transportes intermunicipal, ubicado en el sector sur.

La investigación se enfoca en la evaluación del impacto en términos de tiempos medios de viaje dada la nueva línea de cable, respecto al porcentaje de área, población y número de viviendas cubiertas por las curvas isócronas. El procesamiento de esta información se realizó mediante el *software* de Transcad®, definiendo las características físicas actuales y futuras del TPCU de la ciudad de Manizales, con el fin de obtener las matrices de tiempos medios de viaje y los modelos de accesibilidad necesarios para la evaluación.

2. ¿Qué es la accesibilidad?

Un análisis de accesibilidad permite explicar de forma matemática cuáles son las posibilidades de interacción entre puntos o zonas geográficas de un territorio, definiéndose ésta como una medida de la facilidad de comunicación entre actividades o asentamientos humanos, utilizando un determinado modo de transporte. El análisis de accesibilidad de un área se realiza mediante el empleo de la teoría de grafos [1], la cual aplica el estudio morfométrico de redes (análisis explicativo) para conocer, con base en datos parciales, qué aspecto tiene la estructura completa de la red; lo anterior permite comparar, evaluar impactos y consecuencias entre diversas alternativas de intervención infraestructural.

Los estudios de accesibilidad basados en la teoría de grafos son de dos tipos: estáticos y dinámicos.

Los estáticos se describen a través de índices de forma y conexiones en las redes y los dinámicos se encargan de valorar los elementos operativos de conexión de la red, mediante variables reales asociadas a cualquier sistema de transporte, como su velocidad de operación, características físicas, de control y gestión específicas.

Independientemente del tipo de estudio de accesibilidad, existen tres niveles de categorización: relativa, integral o global [2]. La accesibilidad relativa está asociada con la calidad de la conexión entre dos nodos situados en una misma área; la accesibilidad integral, mide el grado de interconexión de un nodo en particular con los demás nodos de una misma área; y la accesibilidad global es el promedio de las accesibilidades integrales de todos los nodos definidos en el área de estudio, es decir, es representativa del grado de conexión de toda la red y refleja el efecto que sobre la movilidad presentaría una intervención o conjunto de intervenciones infraestructurales.

Para esta investigación se lleva a cabo un análisis de accesibilidad dinámico, dado que se trabajan con valores base obtenidos de amplias muestras de velocidad de operación del TPCU, tomadas en campo mediante equipos GPS, método ampliamente aplicado en la actualidad [3], [4].

3. Metodología

La investigación se realizó en cuatro etapas: 1) Adquisición de información primaria y secundaria, 2) Actualización del grafo de la red vial, 3) Procesamiento de la información, y 4) Análisis de resultados.

Para la primera etapa, se instalaron equipos GPS en vehículos de TPCU, con el fin de almacenar datos de posicionamiento satelital según un intervalo de tiempo predeterminado [5], obteniéndose información básica del vehículo, confirmación de rutas, y determinación de las velocidades medias de operación media sobre cada uno de los arcos que conforman el sistema de TPCU. La precisión de los equipos GPS está directamente asociada a

la tecnología y a la cantidad de satélites con los que trabaja para determinar el dato, en donde, para este trabajo de extensión / investigación es de ± 3 metros. En cualquier caso, se requiere de un sistema de coordenadas estándar para georreferenciar la información, por lo que según la Resolución 068 del 28 de enero del 2005 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi se adopta como único *datum* oficial de Colombia el Marco Geocéntrico Nacional de Referencia MAGNA1 - SIRGAS2 [6]. Como información secundaria, se tuvo el grafo de la red vial de Manizales, proporcionado por la Administración Municipal [7].

La segunda etapa, comprende la actualización de la red vial georreferenciada, mediante la comparación con la categorización vial establecida en el Plan de Ordenamiento Territorial vigente (Acuerdo 508 del 2001, Acuerdo 573 del 2003 y Acuerdo 663 del 2007) [8] y de su complemento con los datos suministrados por el trabajo de campo realizado con los equipos GPS, con el apoyo de ortofotos de la ciudad.

El procesamiento de toda la información requiere de la aplicación de diferentes cálculos de acuerdo al desarrollo del proyecto, colocándose especial énfasis en el análisis de la velocidad puesto que esta variable determina el comportamiento de la red de TPCU. La velocidad de operación se determina para cada arco de la red, a partir de los datos de tiempo obtenidos en forma continua mediante los equipos GPS. Se analizaron tres parámetros: La velocidad de operación por intervalo de tiempo (ec. 1) donde: v_i = Velocidad en km/h; x_1, y_1 = Coordenadas del punto 1 en metros; x_2, y_2 = Coordenadas del punto 2 en metros; t = intervalo de tiempo en segundos entre dato y dato.

$$(1) v_i = \frac{3.6}{t} \sqrt{(y_2 - y_1)^2 + (x_2 - x_1)^2}$$

Este parámetro es útil para establecer las variaciones de la velocidad en un arco en particular y para determinar la rata de paradas cuando se obtienen valores iguales a cero.

La velocidad promedio de viaje en un arco (ec. 2) donde: v_i^a = Velocidad i en el arco a (km/h); l_a = Longitud del arco a en metros; t_1 = Tiempo de paso en el nodo inicial; t_2 = Tiempo de paso en el nodo final.

$$(2) v_i^a = 3.6 \frac{l_a}{t_2 - t_1}$$

La velocidad promedio en el arco para un periodo de tiempo se calcula mediante la aplicación de la ec. 3, donde: v_a = Velocidad promedio de operación del arco a; n = Número de datos de velocidad registrados en el arco a, para un periodo de tiempo.

$$(3) v_a = \frac{\sum_{i=1}^n v_i^a}{n}$$

Esta velocidad es calculada para cada arco de la red vial que soporta el TPCU, y es usada para establecer las impedancias y para el desarrollo del modelo de predicción de tiempos medios de viaje.

Se tomó la red vial de Manizales y se retiró la direccionalidad de los arcos, dado que los usuarios pueden caminar en cualquier dirección. De igual forma se calcularon para todos los arcos los tiempos o impedancias que se presentan en cada uno de ellos, producto de la velocidad de la caminata, lo que significa que por todos los arcos se puede caminar, excepto los del cable aéreo, obteniéndose de esta manera la red vial peatonal. Posteriormente, se superpuso la red vial sobre la que circulan las rutas de TPCU y se conectó a la red vial peatonal por los puntos donde están localizados los paraderos.

En la Figura 1 se aprecia la representación de un recorrido de un usuario que camina hasta el paradero, aborda el sistema de transporte, desciende del sistema en un estacionamiento y luego sigue caminando por la red peatonal hasta su destino. El valor obtenido de tiempo medio de viaje corresponde a la suma de las impedancias de los diferentes tiempos sobre



Figura 1. Recorrido de un usuario por la red peatonal y de TPCU.

cada segmento de arco sobre los que camina o se desplaza en TPCU.

En los paraderos se considera la demora ocasionada por la espera de la ruta cuando se toma esta, como una función de la frecuencia de la ruta, en el descenso del sistema de TPCU no se considera demora alguna.

Con los valores de velocidad media de operación cargados en la red, se realiza el análisis de accesibilidad media territorial, a partir del vector de tiempo medio de viaje (T_{vi}), que representa el tiempo promedio de viaje desde el nodo i hasta los demás nodos de la red; para la obtención de este vector, se debe correr un algoritmo del SIG que calcula la menor distancia entre un nodo específico y los demás nodos de la red, generándose así una matriz unimodal de distancias. Posteriormente, conociendo la velocidad de operación promedio de cada arco, se elabora la matriz de tiempos promedios mínimos de viaje, en la que se minimiza el tiempo medio de viaje entre todos los nodos que conforman la red en estudio. El

vector de tiempo medio de viaje obtenido ($n \times 1$) se relaciona con las coordenadas geográficas (longitud y latitud) de cada uno de los nodos, con el fin de generar una matriz de orden ($n \times 3$), por medio de la cual se originan las curvas isócronas de tiempo promedio de viaje para el análisis de la Accesibilidad Media Global.

4. Análisis de resultados

Con la aplicación de la metodología anteriormente descrita, se obtienen las Figuras 2 y 3, en las que se observan las curvas isócronas de tiempos medios de viaje en minutos, expresadas como la Accesibilidad Media Global Actual ofrecida por el sistema TPCU sin incluir el sistema tipo Cable y la Accesibilidad Media Global Actual ofrecida por el sistema de TPCU incluyendo el sistema tipo Cable, respectivamente. Las curvas representan el tiempo de accesibilidad media global en minutos, apreciándose cómo las zonas con mejores condiciones de accesibilidad corresponden a los sectores del centro de la ciudad.

Con el fin de detallar de una mejor forma el impacto producido por la nueva infraestructura, se cruzaron las curvas isócronas obtenidas con la población, el número de viviendas y el área, para cada caso, es decir sin o con cable, obteniendo los resultados que se presentan en la Figura 4 y la Figura 5, respectivamente.

Se observa, para ambos casos (con cable y sin cable), cómo las curvas correspondientes a la población y al número de viviendas son muy

semejantes, encontrando por ejemplo que el 50% de la población se cubre con tiempos medios de viaje de aproximadamente 60 minutos. Es posible detectar una leve diferencia únicamente para la curva del área urbana cubierta, dada la existencia de zonas que aún no están urbanizadas y que se encuentran en su mayoría en la periferia de la ciudad, las cuales son cubiertas con tiempos medios de viaje superiores a los 100 minutos. Comparando dichos resultados, es posible establecerse que los

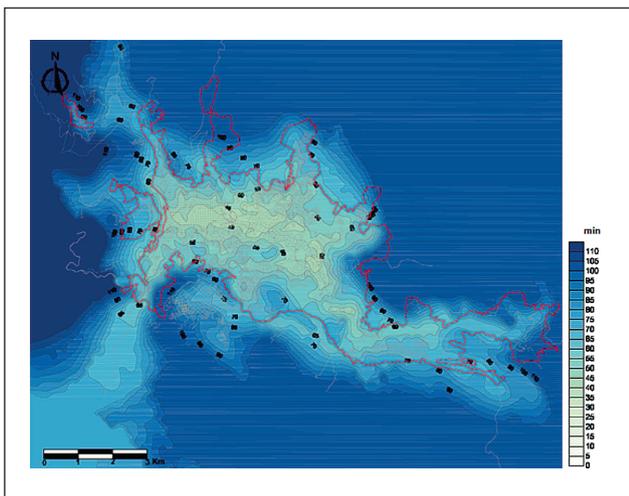


Figura 2. Accesibilidad Media Global Actual ofrecida por el sistema de TPCU sin incluir el sistema tipo Cable.

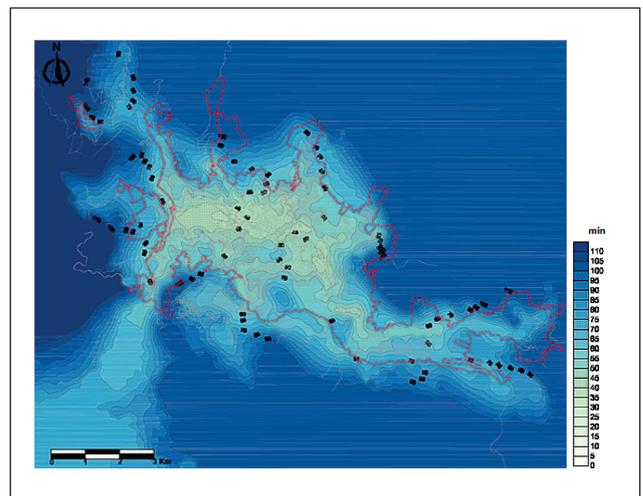


Figura 3. Accesibilidad Media Global Actual ofrecida por el sistema de TPCU incluyendo el sistema tipo Cable.

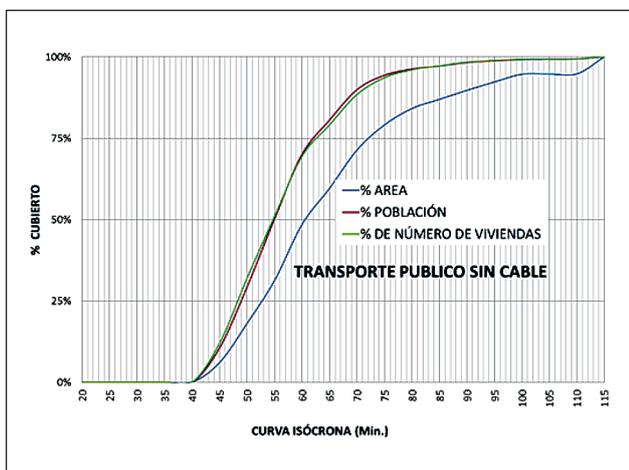


Figura 4. Cobertura acumulada del sistema de TPCU sin incluir el sistema tipo Cable según % de área, % población y % del número de viviendas cubierto.

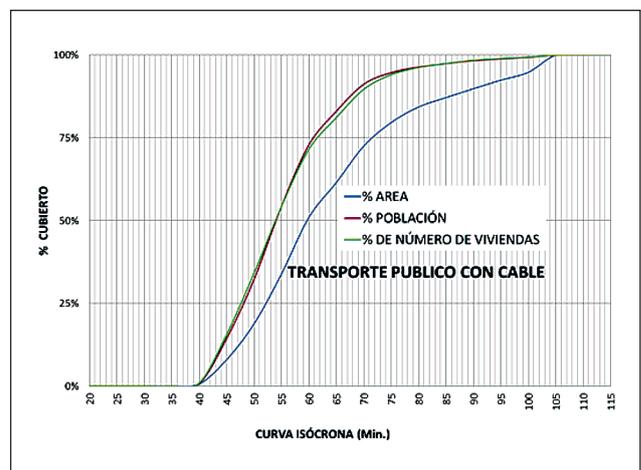


Figura 5. Cobertura acumulada del sistema TPCU incluyendo el sistema tipo Cable según % de área, % población y % del número de viviendas cubierto.

ahorros de tiempo medio de viaje para el sistema de Transporte Público Colectivo, con o sin Cable, para la población, son bastante bajos.

Otra forma de apreciar el impacto de la inserción del cable aéreo en la estructura urbana de la ciudad de Manizales se presenta en la Figura 6, en la cual se observa la diferencia entre las isócronas sin y con Cable Aéreo, encontrando que en la mayoría del interior del perímetro urbano, la ganancia en tiempo de accesibilidad media global no superó los 90 segundos, siendo el más beneficiado el municipio cercano de Villamaría.

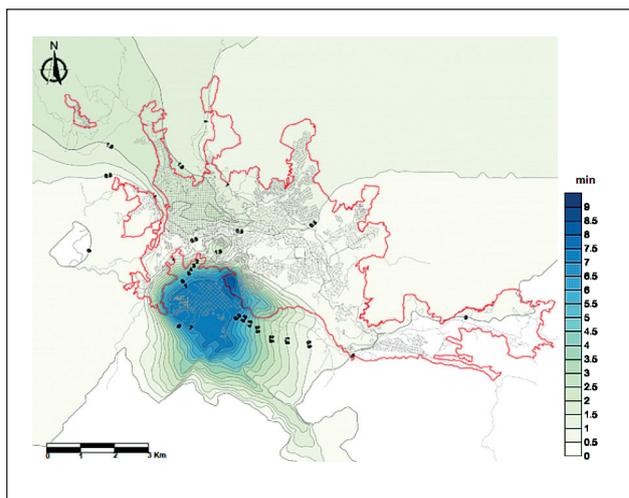


Figura 6. Curvas isócronas de tiempo ahorrado por la inserción del sistema tipo Cable.

En la Figura 7, se observan los resultados obtenidos al cruzar las curvas isócronas de tiempo medio de viaje ahorrado con las variables área, población y número de viviendas; se encontró que menos del 5% de la población tendría mejoras en su accesibilidad media global superior a 2,5 minutos y que alrededor del 40% del número de viviendas percibirían una mejora inferior a un minuto.

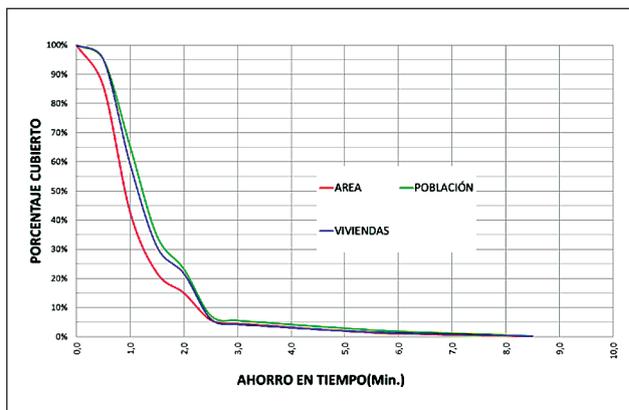


Figura 7. Impacto de la inserción del Cable Aéreo respecto al % Acumulado de Área, Población y Número de Viviendas cubiertas y el ahorro en tiempo medio de viaje.

Conclusiones

El costo estimado del cable aéreo fue de alrededor de 28,5 millones de dólares, lo que en promedio ponderado representó un beneficio en la reducción de tiempo medio de viaje de 3,4%, esto significa que con la construcción de dicha infraestructura de Cable, se realizó una inversión de 8,45 millones de dólares para mejorar un 1% de tiempo medio de viaje inicial de la población. Es de aclarar que lo anterior no considera aspectos como los beneficios ambientales, la atracción turística, la reducción del tráfico por la

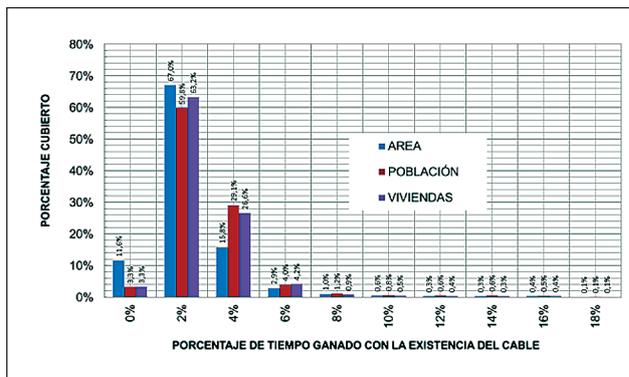


Figura 8. Análisis Gradiente Transporte Público sin Cable y con Cable Aéreo.

preferencia del sistema Cable sobre el vehículo, entre otras consideraciones que pueden ser analizadas, sin embargo, la metodología aquí presentada, sí mide en forma equilibrada y rigurosa un parámetro de alto impacto, como lo es la accesibilidad media global ofrecida por el sistema de transporte.

Vale la pena destacar que una sola gestión sobre el sistema semafórico de la ciudad o el control del transporte público respecto a los cumplimientos de los itinerarios, o la mejora de la infraestructura vial puede tener relaciones inversión-beneficios mucho mayores, lo cual puede ser evaluado mediante la aplicación de esta misma metodología.

Se concluye que este tipo de análisis es un soporte técnico que en cualquier momento puede apoyar la toma de decisiones respecto a modificaciones que se deseen realizar a la red vial [9] y sobre todo para establecer en qué áreas de la ciudad se deben aunar esfuerzos para ofrecer una mejor accesibilidad y aumentar la calidad de vida de los habitantes.

Los indicadores de accesibilidad en la planeación del transporte han sido objeto de estudio, desde hace varias décadas [10], no obstante, pocas aplicaciones se conocen en el territorio colombiano. Futuras investigaciones deberían direccionarse a la aplicación de esta metodología de evaluación de la accesibilidad en otras ciudades intermedias, teniendo que es posible aunar esfuerzos para un análisis concienzudo de las ciudades de Armenia, Ibagué y Pereira, con el fin de compararle con los resultados obtenidos en la ciudad de Manizales y finalmente concluir sobre la actual situación entre diferentes tipos de intervenciones sobre el modo de Transporte Público Colectivo Urbano.

Referencias

1. Petrus, Bey y Seguí, Pons (1992). *Geografía de Redes y Sistemas de Transporte*. España: Editorial Síntesis.
2. Izquierdo, Rafael (1994). *Transportes: un enfoque integral*. España: CICCOP.
3. Zhu, Xuan y Liu, Suxia. (2004). "Analysis of the impact of the MRT system on accessibility in Singapore using an integrated GIS tool", in: *Journal of Transport Geography*, Vol. 4, 12, 89-101.
4. Loyola, C. y Albornos, E. (2009). "Flujo, movilidad y niveles de accesibilidad en el centro de Chillan año 2007. Propuesta de mejoramiento mediante SIG", en: *Revista Urbano*, Vol. 12, 19.
5. García, F.J. y Escobar, D.A. (2010). "Determinación de algunas características operativas del tránsito sobre las vías con fines de modelación, mediante el uso de GPS", en: XVI PANAM, July 15-18, 2010 - Lisbon, Portugal.
6. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2005). Resolución 068 del 28 de enero del 2005. Colombia: Autor.
7. Universidad Nacional de Colombia (2005). *Plan de Movilidad para el Municipio de Manizales*. Fases 0 y 1. Manizales: Autor.
8. Alcaldía de Manizales (2007). *Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Manizales*. Acuerdo 508 del 2001, Acuerdo 573 del 2003 y Acuerdo 663 del 2007.
9. Escobar, D.A. y García, F.J. (2010). "Impacto de las nuevas obras de infraestructura vial en la ciudad de Manizales (Colombia) en términos de tiempos de accesibilidad en vehículo privado y en transporte público", en: XVI PANAM, Lisbon, Portugal, July 15-18, 2010.
10. Morris, J.M.; Dumble, P.L. and Wigan, M.R. (1979). "Accessibility indicators in transport planning", in: *Transportation Research*, 13, 91-109.