

Beneficios Evaluados a partir de un Análisis de Accesibilidad Territorial Urbana para un Sistema de Transporte Tipo Cable

Diego A Escobar,
 Director Área Curricular de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Colombia. Sede Manizales.
 daescobarga@bt.unal.edu.co

Francisco J. García,
 Coordinador Especialización en Vías y Transportes. Universidad Nacional de Colombia. Sede Manizales.
 fgarciaor@bt.unal.edu.co

RESUMEN

Manizales es una ciudad localizada en la zona centro de Colombia, que responde a la adaptación a una topografía bastante quebrada y abrupta, dado su emplazamiento geográfico, lo cual hace que ésta posea características muy particulares; ubicada en el filo de la colina, permite una apertura permanente al paisaje, a todo lo largo de su recorrido, es así como el crecimiento urbanístico se ha venido adaptando de manera orgánica a las condiciones topográficas, encontrando que la ciudad se caracterizará por contar con una estructura vial no continua, producto de permanentes accidentes geográficos.

Con el fin de proporcionar una movilidad más rápida, la administración local construyó un sistema cable que une el centro de la ciudad con el nuevo terminal de transportes. En este estudio se evalúa el impacto producido por la construcción de la primera línea de cable aéreo en los tiempos medios de viaje invertido por los pobladores, realizando una comparación con los tiempos medios de viaje sin la existencia de éste y comparando con 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 de predicción de tiempos, basados en las velocidades medias de operación de este tipo de sistemas de transporte.

Palabras Claves: Accesibilidad, evaluación de impacto, cable, grafos, cobertura.

ABSTRACT

Manizales is located in the center region of Colombia. Respond to adaptation to an abrupt and rugged topography, which makes it possess special characteristics. Located on the edge of the hill, allowing a permanent opening to the landscape throughout its route. The urban growth has come organically adapting to topographic conditions. Manizales is characterized by have a discontinuous road and urban structure.

In order to provide a faster mobility, local government built a cable system linking the downtown with the new Central Station. This article assesses the impact caused by the construction of the first cable line over the average travel times spent by travelers. A comparison between average travel times (with and without the cable line) is done and comparing the variables area, population and number of households covered. The study use the methodology for analyzing spatial accessibility through Geostatistical techniques prediction time, based on the average speeds of operation of this kind of transport.

Keywords: Accessibility, impact assessment, cable, graphs, coverage.

1. INTRODUCCIÓN

A partir de octubre del año 2009, se puso en funcionamiento la primera línea de cable en la ciudad de Manizales, la cual es complementaria al sistema de Transporte Público Colectivo Urbano (TPCU). Este sistema tipo cable fue construido con el fin de proporcionar una comunicación más rápida y expedita a los usuarios entre el centro de la ciudad y el nuevo terminal de transportes intermunicipales, ubicado en el sector sur.

Mediante esta investigación se evalúan las condiciones de accesibilidad media global ofrecida por el sistema de TPCU sin cable y las nuevas condiciones luego de haberse complementado el transporte con el sistema tipo cable, a partir del procesamiento de los datos recopilados, que permitieron la elaboración de las curvas isócronas de accesibilidad media global.

Los esfuerzos investigativos se enfocaron 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[®], considerando las características físicas actuales y futuras del TPCU de la ciudad de Manizales, para obtener las matrices con los tiempos medios de viaje a partir de caminos mínimos y la aplicación de fundamentos que se requieren para la evaluación de la accesibilidad.

La ciudad de Manizales se encuentra ubicada en la región centro occidente de Colombia, a una altura de 2150 m.s.n.m., entre los 5.4° de latitud norte y 75.3° de Greenwich, sobre la prolongación de la cordillera andina, se localiza en el centro geográfico de las tres ciudades más importantes de Colombia, a una distancia de 275 km. de la capital Bogotá D.C., 180 Km. a Medellín y 300 km. a Cali.; 370.000 habitantes aproximadamente. La conformación urbanística de la ciudad responde a la adaptación a una topografía bastante quebrada y abrupta, dado su emplazamiento geográfico, lo cual hace que ésta posea características muy particulares; ubicada en el filo de la colina, permite una apertura permanente al paisaje, a todo lo largo de su recorrido, es así como el crecimiento urbanístico se ha venido adaptando de manera orgánica a las condiciones topográficas, teniendo entonces que Manizales se caracterizará por contar con una estructura urbana no continua, en donde la implementación de sistemas de transporte no contaminantes como el cable podrían ayudar a mitigar no sólo los inconvenientes de tipo contaminante que se han estado generando, sino también ayudaría a sobrepasar barreras naturales de una forma más expedita.

2. LA ACCESIBILIDAD

Como lo plantean Izquierdo et al. (1991), un análisis de accesibilidad permite explicar de forma técnica cuáles son las posibilidades de interacción entre los distintos puntos geográficos de un territorio, definiéndose ésta como una medida de la facilidad de comunicación entre actividades o asentamientos humanos, utilizando un determinado modo de transporte. Asimismo, permite medir la facilidad o dificultad aportada por las infraestructuras y medios de transporte para la realización de un viaje.

El análisis de accesibilidad de un área se realiza mediante el empleo de la teoría de grafos [Petrus, J. y Seguí, J. (1991)], la cual utiliza 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 identificar zonas que presenten menores posibilidades de movilidad, comparar los planes alternativos de transporte, encontrar un equilibrio territorial y evaluar impactos y consecuencias entre diversas alternativas de intervención sobre la infraestructura de la zona evaluada.

3. NIVELES DE ACCESIBILIDAD

La accesibilidad basada en la teoría de grafos pueden ser de dos tipos [Murillo, J., (2007)]: estáticos y dinámicos. Los estáticos se describen a través de índices de forma y conexiones (aunque su desarrollo se produzca a través de una sucesión temporal) y los dinámicos, se encargan de valorar los elementos de conexión de la red con variables reales asociadas con la operación de cualquier sistema de transporte, como por ejemplo las distancias, velocidades de operación de los diferentes modos entre los nodos del grafo, características de superficie de rodadura, costos, flujos que por ellas circulan, etc.

Aparte del tipo de estudio de accesibilidad (estático o dinámico), existen tres niveles en los que la accesibilidad se puede categorizar: relativa, integral o global [Izquierdo, R., et al. (1991)].

La calidad de la conexión entre dos nodos situados en una misma área, define la accesibilidad relativa, mientras que 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, por lo tanto es representativa del grado de conexión de toda la red, reflejando el efecto que sobre la movilidad presentaría una intervención o conjunto de intervenciones en la infraestructura de la zona de análisis.

En este artículo se presenta 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 de posicionamiento satelital de alta precisión instalados en el parque automotor.

4. METODOLOGÍA

A continuación se presentan, de forma general, los aspectos metodológicos más importantes que son abordados en la presente investigación, en donde la obtención de la red georreferenciada y de las velocidades de operación de los arcos que soportan la red de TPCU, se convierten en pasos fundamentales para aplicar técnicas geoestadísticas y obtener los modelos de predicción de la variable “tiempo medio de viaje”.

4.1 Adquisición de la Información

Para esta actividad, se instalaron equipos GPS en vehículos de TPCU, con el fin de almacenar datos de posicionamiento satelital según un intervalo de tiempo predeterminado, obteniéndose información básica del vehículo que permite el cálculo de la velocidad de operación media sobre cada uno de los arcos que conforman el sistema.

4.2 Actualización de la Red Georreferenciada

Esta actividad parte del análisis de la red vial proporcionada por la Administración Municipal, de su 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) y de su complemento con los datos suministrados por el trabajo de campo realizado con los equipos GPS. Conformada por nodos y arcos o segmentos de vía, que se encuentran localizados espacialmente y la agregación de ellos conforma la red vial.

El siguiente paso consistió en corregir y validar la información. Se pueden ver afectados fundamentalmente dos aspectos, los relacionados con la red vial en cuanto a sus características físicas, y los relacionados con la información en obtenida mediante los equipos GPS. Una vez identificadas las posibles inconsistencias, se realizó un trabajo de campo apoyado con el conocimiento de la ciudad y con aerofotografías facilitadas por la Administración Municipal, que permitieron corregir la red vial en conjunto y la definición clara de los arcos que son soporte del sistema de TPCU.

4.3 Cálculo de Velocidades de Operación

Procesar toda la información requiere de la aplicación de diferentes algoritmos de cálculo de acuerdo al desarrollo del proyecto, haciendo especial énfasis en el análisis de la velocidad puesto que esta variable determina como se comporta la red de TPCU.

La velocidad de operación se puede determinar para cada arco de la red a partir de los datos de tiempo obtenidos en forma continua mediante los GPS. Se analizaron tres parámetros: (1) la velocidad del vehículo cada intervalo de lectura de dato a lo largo de los *i*-ésimos arcos; (2) la velocidad promedio de operación del *i*-ésimo arco, y (3) la velocidad de operación para cada arco *i* de una determinada ruta.

4.3.1 Cálculo de Velocidad Instantánea

La velocidad de operación por intervalo de tiempo entre dos puntos 1 y 2 fue obtenida mediante la aplicación de la Ecuación 1.

ECUACIÓN 1: Velocidad de Operación

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

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

Este parámetro se usa para establecer las variaciones de la velocidad en un arco en particular, para determinar la ruta de paradas cuando se obtienen valores iguales a cero y para establecer la duración de las paradas.

4.3.2 Cálculo de Velocidad Promedio de un Viaje en el Arco

El segundo parámetro es la velocidad promedio de viaje en un arco, la cual fue obtenida mediante la relación entre la longitud del arco y la diferencia de los tiempos de paso entre el nodo inicial y nodo final del mismo, mediante la aplicación de la Ecuación 2.

ECUACIÓN 2: Velocidad Promedio de Viaje en un Arco

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

Donde:

v_i^a = Velocidad i en el arco a (km/h),

l_a = Longitud del arco a en metros,

t_1 = Hora de paso en el nodo inicial,

t_2 = Hora de paso en el nodo final.

4.3.3 Cálculo de Velocidad Promedio en el Arco para un Periodo de Tiempo

Finalmente, la velocidad promedio en el arco para un periodo de tiempo se calcula mediante la aplicación de la Ecuación 3.

ECUACIÓN 3: Velocidad Promedio en el Arco

$$\bar{v}_a = \frac{\sum_{i=1}^n v_i^a}{n}$$

Donde:

\bar{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.

Esta velocidad se calcula para cada arco de la red vial que soporta el TPCU, y es usada para establecer las impedancias y a través de esta la matriz de tiempos mínimos.

4.4 Cálculo de la Accesibilidad Media Global

Ésta se analiza a partir del vector de tiempo medio de viaje (T_{vi}), el cual representa el tiempo promedio de viaje desde el nodo i hasta los demás nodos de la red; este indicador tiende a favorecer los puntos ubicados hacia el centro de una red, debido a que los tiempos de viaje desde dichos nodos hacia los demás son menores por su ubicación geográfica.

Para la obtención del vector de tiempo medio de viaje, 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 generan las curvas isócronas de tiempo promedio de viaje para el análisis de la Accesibilidad Media Global.

Para facilidad de lectura, en adelante la expresión "Accesibilidad" se refiere de forma específica a la Accesibilidad Media Global.

4.5 Síntesis del Procedimiento de Obtención de los Parámetros para el Análisis de Accesibilidad del Sistema de TPCU

La estructura de rutas de transporte público colectivo urbano de la ciudad de Manizales, está conformada por 43 rutas servidas con buses, busetas y microbuses y una ruta servida por el sistema de cable aéreo (estaciones del sistema en puntos rojos) inaugurado en el mes de octubre del 2009, como se presenta en la Figura 1.

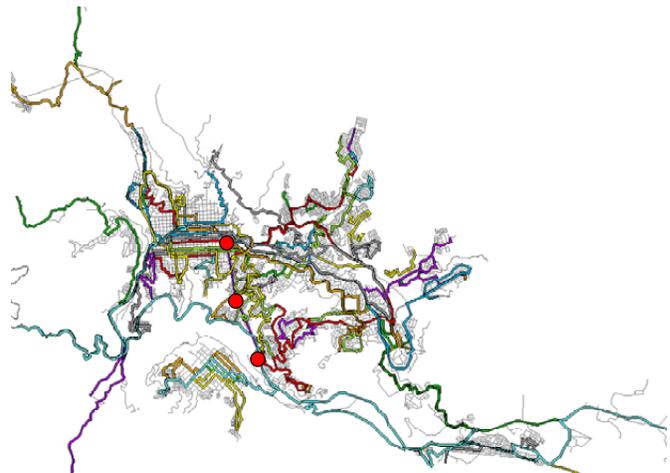


FIGURA 1: Red de Rutas de TPCU de la Ciudad de Manizales y Primera Línea de Cable

Fuente: Elaboración Propia.

Para el análisis que se presenta en este documento 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 forma la red vial peatonal.

Sobre esta red, con las características descritas con anterioridad, 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 2 se aprecia la representación de un recorrido de un usuario que camina desde el punto 1 localizado en el nodo 1672 hasta el paradero localizado en el nodo 13125, se sube al sistema de transporte, se baja del sistema en un paradero localizado en el nodo 12976 y luego se devuelve caminando por la red peatonal hasta su destino localizado en el punto número 2.

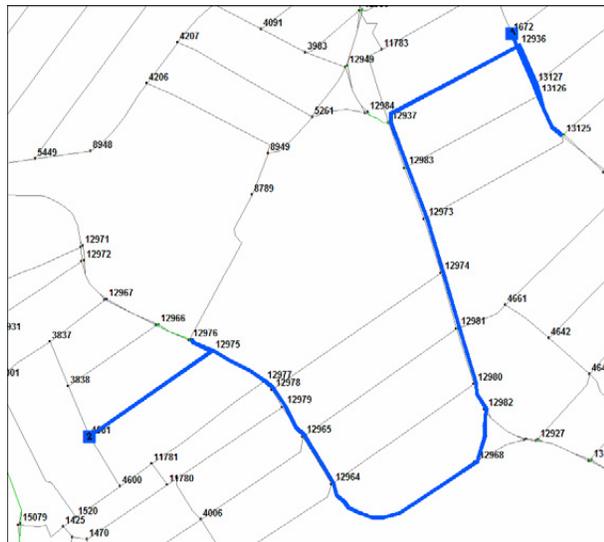


FIGURA 2: Recorrido de un Usuario por la Red Peatonal y de TPCU
Fuente: Elaboración Propia.

El valor obtenido de tiempo medio de viaje corresponde a la suma de las impedancias de los diferentes tiempos sobre cada segmento de arco sobre los que se desplaza, una parte en TPCU y otra caminando.

En los paraderos se considera la demora ocasionada por la espera de la ruta, como una función de la frecuencia de la ruta, en el descenso del sistema de TPCU no se considera demora alguna. A partir de la definición de la anterior red, se establece la red matriz de caminos mínimos para el sistema de TPCU de todos los nodos contra todos los nodos, matriz que permite elaborar los modelos de accesibilidad necesarios para la evaluación del impacto de inserción del sistema tipo cable.

5. PRINCIPALES RESULTADOS

El desarrollo de la metodología anteriormente descrita, permite obtener la Figura 3 y la Figura 4, 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.

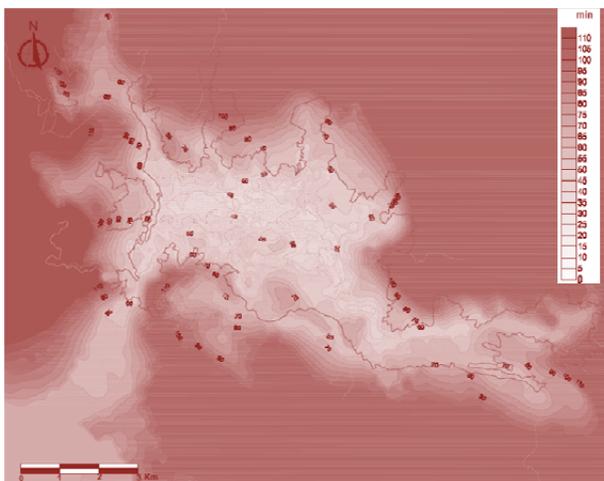


FIGURA 3: Accesibilidad Media Global Actual ofrecida por el Sistema de TPCU sin incluir el Sistema Tipo Cable
Fuente: Elaboración propia

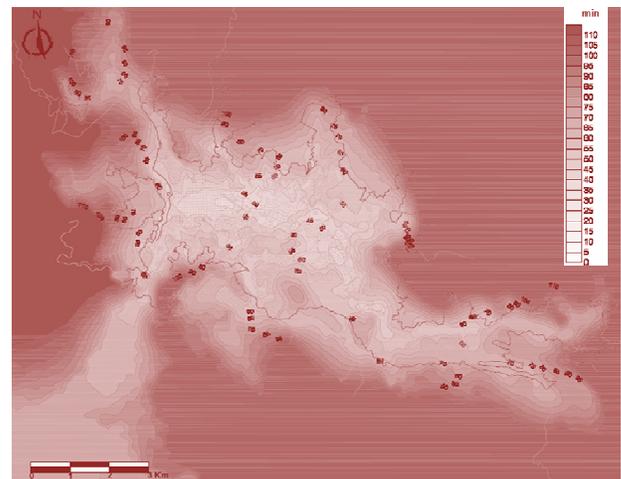


FIGURA 4: Accesibilidad Media Global Actual Ofrecida por el Sistema de TPCU Incluyendo el Sistema Tipo Cable
Fuente: Elaboración propia

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.

En la Figura 5A se aprecia un detalle del sector céntrico de la ciudad con la red vial y la Figura 5B el mismo sector sin la red vial, para el caso del análisis sin incluir el sistema tipo cable, siendo este sector el que mejores condiciones de Accesibilidad Media Global refiere para la ciudad.



FIGURA 5A: Detalle de las Curvas Isócronas de Accesibilidad Media Global Actual ofrecidas por el TPCU sin incluir el Sistema Tipo Cable con Red Vial

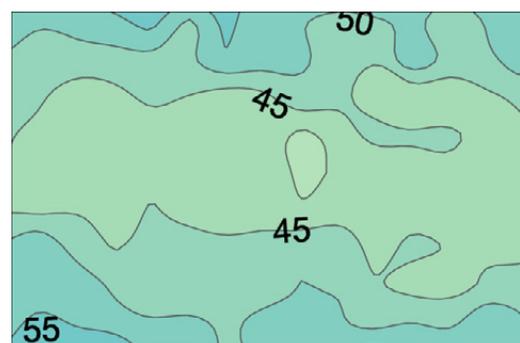


FIGURA 5B: Detalle de las Curvas Isócronas de Accesibilidad Media Global Actual ofrecidas por el TPCU sin incluir el Sistema Tipo Cable sin Red Vial
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 6A y la Figura 6B se presenta un detalle de las curvas isócronas obtenidas incluyendo el sistema tipo cable, en el sector céntrico de la ciudad, siendo esta zona la que refiere mejores condiciones de Accesibilidad Media Global, la primera imagen incluye la red vial y la segunda no.

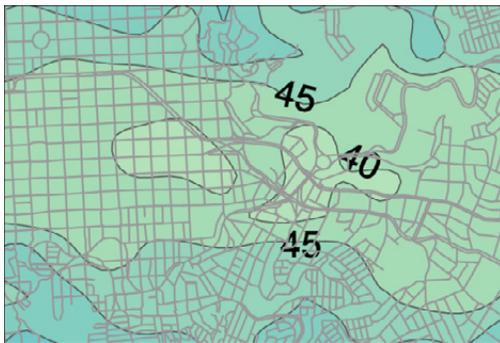


FIGURA 6A: Detalle de las Curvas Isócronas de Accesibilidad Media Global Actual ofrecidas por el TPCU incluyendo el Sistema Tipo Cable con Red Vial



FIGURA 6B: Detalle de las Curvas Isócronas de Accesibilidad Media Global Actual ofrecidas por el TPCU incluyendo el Sistema Tipo Cable sin Red Vial
Fuente: Elaboración propia

Comparando la Figura 5B con la Figura 6B, es posible observar cómo crece la curvas isócrona de 40 minutos de tiempo medio de viaje con la presencia del sistema tipo Cable Aéreo, así mismo se aprecia que las curvas isócronas se desplazan hacia afuera del centro, lo que representa alguna mejora respecto a la accesibilidad por la presencia de dicha infraestructura.

Con el fin de detallar de una mejor forma el impacto producido por la nueva infraestructura, se cruzaron las curvas isócronas con la población, el número de viviendas y el área, para cada caso, es decir sin o con cable. 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, distanciándose únicamente 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.

Para el caso del análisis con la presencia del Cable Aéreo, se tiene el mismo patrón de comportamiento, notándose un leve desplazamiento de las curvas hacia la izquierda, lo que se puede dimensionar mejor si se compara cada curva para la situación sin y con cable respecto a cada variable (población, vivienda y área). Se observa de esta forma cómo el impacto respecto a la población es de alrededor de un minuto, como se presenta en la Figura 7. De igual forma en la Figura 8, se observa un impacto similar al anterior respecto a las viviendas, y en la Figura 9 se observa cómo el mayor impacto respecto al área se observa en las zonas periféricas o alejadas del centro, tal como se había expresado anteriormente.

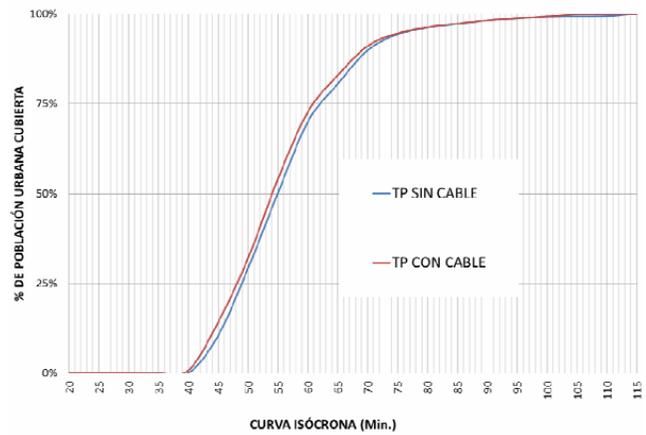


FIGURA 7: Comparación del % de Población Urbana cubierta por las Curvas Isócronas para el Sistema TPCU sin Incluir el Cable e Incluyendo el Cable
Fuente: Elaboración propia

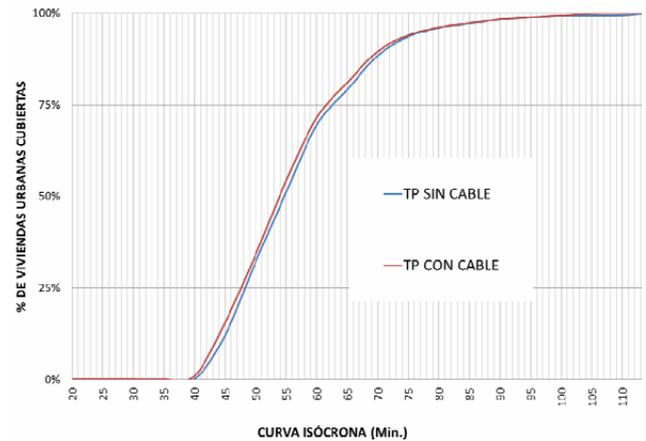


FIGURA 8: Comparación del % del Número de Viviendas Urbanas cubiertas por las Curvas Isócronas para el Sistema TPCU sin Incluir el Cable e Incluyendo el Cable
Fuente: Elaboración propia

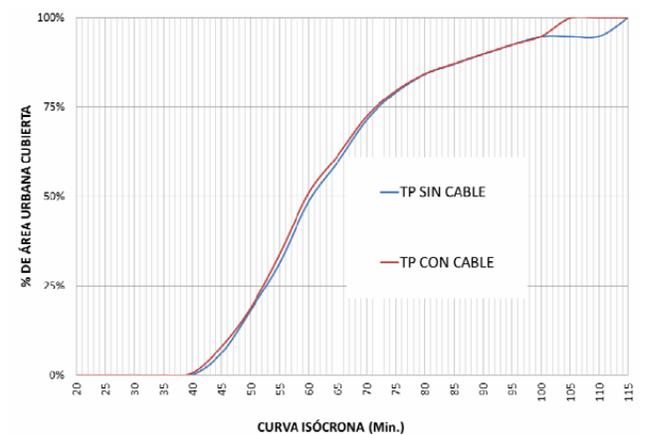


FIGURA 9: Comparación del % de Área Urbana cubierta por las Curvas Isócronas para el Sistema TPCU sin Incluir el Cable e Incluyendo el Cable
Fuente: Elaboración propia

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 10, 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 cercano municipio de Villamaría.

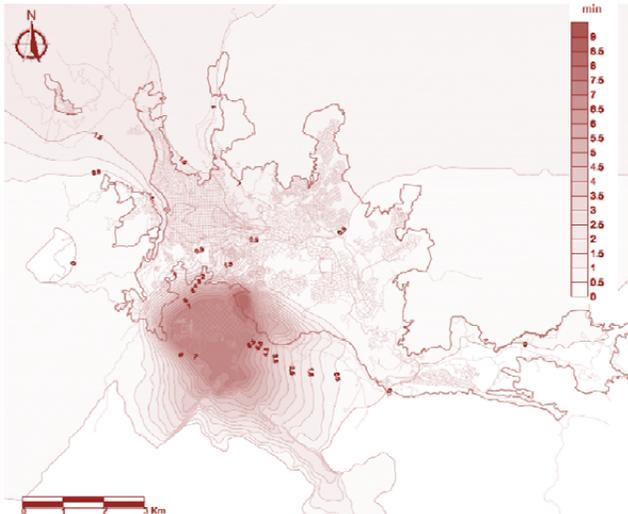


FIGURA 10: Curvas Isócronas de Tiempo Ganado por la inserción del Sistema Tipo Cable
Fuente: Elaboración propia

Otra forma de evaluar el impacto en la infraestructura del transporte por parte de la inserción del sistema de Cable Aéreo, corresponde a la construcción de bandas construidas entre ciertas impedancias como se muestra en la Figura 11, Figura 12 y Figura 13, donde se aprecia hasta donde se puede llegar en 6, 8 y 12 minutos respectivamente.

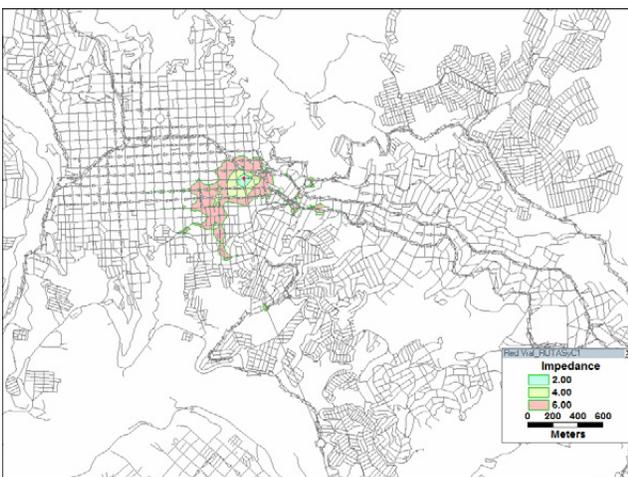


FIGURA 11: Bandas de Isoimpedancia calculadas desde la Estación del Cable para 6 Minutos
Fuente: Elaboración propia

Se observa que a través de la red de transporte público, en donde existen paraderos, se generan zonas accesibles para cierto valor de impedancia, de igual forma se aprecia este mismo efecto en las estaciones del Cable Aéreo.

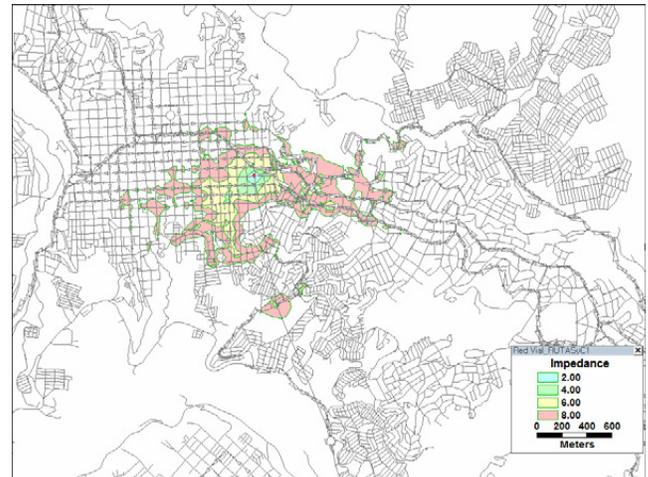


FIGURA 12: Bandas de Isoimpedancia calculadas desde la Estación del Cable para 8 Minutos
Fuente: Elaboración propia

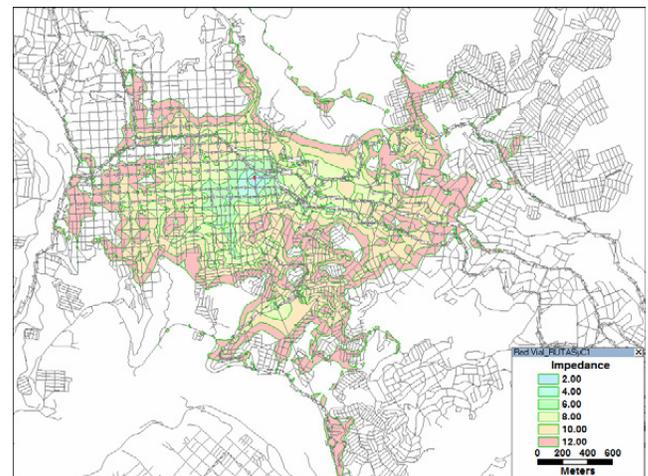


FIGURA 13: Bandas de Isoimpedancia Calculadas desde la Estación del Cable para 12 Minutos
Fuente: Elaboración propia

6. CONCLUSIONES

Los modelos de oferta como el que se presenta en este artículo, constituyen una opción de análisis que cada día gana más espacio en su aplicación, por carecer de la influencia que presentan otros modelos respecto a la subjetividad de algunos parámetros insertos en ellos.

La inversión realizada en la construcción del cable aéreo fue de alrededor de 28.5 millones de dólares, lo que representa en términos del promedio ponderado un beneficio en la reducción de tiempo de viaje de 3.4%, esto representa una inversión de 8.45 millones de dólares para mejorar un 1% de tiempo medio de viaje de la población al realizarse dicha inversión en infraestructura del Cable Aéreo. Los análisis realizados permiten obtener este indicador para cualquier infraestructura que se inserte en la ciudad y en general en cualquier zona de análisis, y por lo tanto es un indicador que permite evaluar la relación beneficio/costo desde el punto de vista de la accesibilidad.

La evaluación anterior no considera aspectos como los beneficios ambientales, la atracción turística, la posible reducción del tráfico producto de la partición modal, entre otras

consideraciones que pueden ser analizadas, pero definitivamente si evalúa en forma equilibrada y rigurosa un parámetro de alto impacto para todos los habitantes como es la accesibilidad media global en el territorio de análisis.

Para el caso de optimizar al máximo los recursos, un análisis similar al realizado permite evidenciar que actuaciones que mejoren el sistema semafórico de la ciudad o la realización de un mayor control del transporte público respecto a los cumplimientos de los itinerarios, o la mejora de la infraestructura vial puede tener relaciones beneficio/costo mucho mayores.

Para la toma de decisiones respecto a actuaciones que se deseen realizar a la red vial y 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, la metodología aquí presentada constituye una opción técnica de alta calidad.

REFERENCIAS

- American Association of State Highway and Transportation Officials - AASHTO (2001). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*; Washington DC: Autor.
- Barea, Pedro y Martínez, O. Álvaro (2002). *Metodologías de Evaluación de la Accesibilidad y nuevos enfoques*. V Congreso de Ingeniería de Transporte. Universidad de Cantabria. España. (Paper).
- Ballou, Ronald. (2004): *Business Logistics Management; Planning, Organizing and controlling the Supply Chain*. New Jersey: Prentice Hall.
- Escobar García, Diego (2010) *Estudio de Accesibilidad al Territorio para definir transporte de Gas Natural Comprimido (GNC) en vehículos de carga*. XVI PANAM, Lisboa, Portugal, July 15-18, 2010. (Paper).
- Escobar García, Diego (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*. XVI PANAM, Lisboa, Portugal, July 15-18, 2010. (Paper).
- Escobar García, Diego (2010). *Impacto en la Accesibilidad y Costos de operación por la inserción de nueva infraestructura del transporte en la región centro sur del Departamento de Caldas (Colombia)*. XVI PANAM, Lisboa, Portugal, July 15-18, 2010. (Paper).
- Gutiérrez, Javier. (1998). *Redes, espacio y tiempo*. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 18, 65-86.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2005). *Resolución 068 del 28 de Enero de 2005*. Colombia: Autor.
- Instituto Nacional de Vías (2008). *Manual de Diseño Geométrico de Carreteras*. República de Colombia: Autor.
- Izquierdo, Rafael. (1994). **Transportes un Enfoque Integral**. España: CICC.
- Loyola Gómez, Christian y Albornos, Elías (2009). *Flujo, Movilidad y Niveles de Accesibilidad en el centro de Chillan año 2007. Propuesta de mejoramiento mediante SIG*. **Revista Urbano**, Vol. 12, 19.
- Morris, J.M., Dumble, P.L., Wigan, M.R., (1979) *Accessibility indicators in transport planning*. **Transportation Research**, 13, 91-109.
- Murillo, Jackeline; Molina, Ciro y García, María (2007), *La Accesibilidad Vial Regional, Metodologías para su evaluación*. (Paper).
- Petrus, Bey, y Seguí, Pons. (1992). **Geografía de Redes y Sistemas de Transporte**. España: Editorial Síntesis.
- Taha, Hamdy A. (2007). **Operations Research**. México D.F: Editorial Alfaomega.
- Universidad Nacional de Colombia (2005). *Plan de Movilidad para el Municipio de Manizales. Fases 0 y 1*. Manizales: Autor.
- Zhu, Xuan y Liu, Suxia. (2004): *Analysis of the impact of the MRT system on accessibility in Singapore using an integrated GIS tool*. **Journal of Geography** Vol. 4, 12, 89-101.