

Accesibilidad: elemento fundamental para la ejecución de infraestructura de transporte

Accessibility: fundamental for implementation of transportation infrastructure element

Jhair Andrés Manrique Bautista

Ingeniero Civil, Magister en Transporte e Infraestructura
Universidad Pontificia Bolivariana. Bucaramanga, Colombia
jhairandresmanrique@gmail.com

Miller Humberto Salas Rondón

Ph.D, MSc en Gestión del Territorio e Infraestructura de Transporte
Universidad Pontificia Bolivariana. Bucaramanga, Colombia
miller.salas@upb.edu.co

José Carlos Jiménez Serpa

Ingeniero Civil, Magister en Transporte e Infraestructura
Universidad Pontificia Bolivariana. Bucaramanga, Colombia
jimser7@hotmail.com

Fecha de recepción: 25 de mayo 2019 / **Fecha de aprobación:** 15 enero 2020

RESUMEN

El Área Metropolitana de Bucaramanga -AMB- presenta actualmente una situación crítica de movilidad generada por diferentes factores ya sean políticos, sociales o del territorio, por ende se hace necesario una metodología de inversión en términos de infraestructura vial que beneficien a la mayor cantidad de habitantes posibles. Con esta investigación se pretende informar, fortalecer, optimizar y mejorar las condiciones viales presentes en todo el territorio Colombiano, demostrando que con un procedimiento de selección de proyectos viales en términos de tiempo, costo generalizado del viaje y optimización de los recursos públicos, se asegura un beneficio para la comunidad y no para un particular. La metodología utilizada fue basada en la determinación de índices de accesibilidad obtenidos de dos escenarios el actual, (hace referencia a la malla vial existente en AMB) y el futuro, (malla vial existente más los proyectos viales futuros) modelados por medio del software TransCad en el cual se obtuvieron malla vial futura que representaron ahorros en pesos colombianos de \$4.365 millones (1,51 millones de USD)

PALABRAS CLAVES—Accesibilidad, Tiempos de Viaje, Costo de viaje, Software TransCad.

ABSTRACT

The Metropolitan Area of Bucaramanga -AMB- currently presents a critical situation of mobility generated by different factors whether political, social or territorial, therefore an investment methodology is necessary in terms of road infrastructure that benefits the greatest number of inhabitants possible. This research aims to inform, strengthen, optimize and improve the road conditions present throughout the Colombian territory, showing that with a procedure of road project selection in terms of time, generalized cost of travel and optimization of public resources, it ensures a benefit for the community and not for a private individual. The methodology used was based on the determination of accessibility indices obtained from two scenarios, the current one, (refers to the existing road network in AMB) and the future, (existing road network plus future road projects) modeled through the TransCad software, in which a future road network was obtained that represented savings in Colombian pesos of \$ 4.365 million (1,51 million USD)

KEY WORDS-- Accessibility, travel time, travel cost, Software TransCAD.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, Colombia ha estado ejecutando la planeación de infraestructura vial de forma desorganizada, permitiendo que la construcción inmobiliaria sea el factor determinante de la forma y organización espacial del país, dejando en un segundo plano la movilidad en la malla vial.

Se ha determinado que uno de los principales problemas al momento de planificar, es la sectorización que involucra a una ciudad (desarrollo económico, medio ambiente, uso de suelo, vialidades, etc.) realizando su planeación y ejecución de manera independiente, olvidándose de la relación que existe entre estos sectores e ignorando su impacto. Un ejemplo muy claro es que, los planificadores urbanos enfocan sus trabajos en la organización de los patrones de actividades, las densidades, entre otras, sin tener en cuenta que muchas veces estas actividades se encuentran relacionadas temporalmente y espacialmente a otras, ignorando que para lograr una interacción entre estas es necesario vincular la ejecución de infraestructura vial de transporte.

Por otro lado, la principal actividad de los planificadores de transporte es la predicción y provisión de infraestructura para modos que permitan la movilidad en la ciudad, utilizando las adecuadas herramientas que determinen la medición del desempeño de la infraestructura, e ignorando que esta es únicamente un soporte de la movilidad. Por consiguiente, se ha determinado que los planes urbanos de infraestructura son rígidos y anticuados y no generan el desarrollo esperado, por lo que se hace necesario contar con nuevos instrumentos de planificación, como la accesibilidad, que nos permita responder de forma rápida a la demanda de necesidades que posee una ciudad. Este es un término muy común en el léxico de la población del mundo, pero no todos conocen su definición y como poder medirla.

La accesibilidad como potencial de oportunidades de interacción (Hansen, 1959), y facilidad para alcanzar cualquier zona de actividad usando un sistema de transporte determinado (Dalvi y Martin, 1976). En general, se puede asumir como la facilidad que ofrece la infraestructura de una ciudad a la población para alcanzar los destinos deseados, empleando la malla vial (Ben-Akiva y Lerman, s.f.), una de las características es que para poder alcanzar el sitio deseado se necesita de superar la barrera de la distancia, utilizando un medio de transporte, de igual manera, para determinar la medición no existe una ciencia exacta, por lo que se puede decir que no hay una medida estándar para la accesibilidad, esta se

puede tomar de acuerdo a las condiciones que presente el sector en estudio, de igual manera, cabe resaltar las tres grandes categorías de medición más comunes, como índices compuestos, espacio temporal y análisis de redes. De estas tres categorías, los análisis de redes y sus modelos para calcular la accesibilidad, cercanía y conectividad han demostrado ser la herramienta más eficaz para lograr este cálculo y así poder diagnosticar el estado de la ciudad o parte de ella. Uno de los fines de este proyecto es presentar la accesibilidad como una herramienta capaz de planificar la ciudad priorizando la red vial como organizadora del territorio.

METODOLOGÍA

Identificación de la Zona de Estudio

En la Figura 1 se muestra el área de estudio donde se determinaron los niveles de accesibilidad ubicados en el Área Metropolitana de Bucaramanga -AMB- Colombia. En la Figura 2 se muestran las Ciudades de Bucaramanga, Girón, Piedecuesta y Floridablanca y su red vial de conexión, de los cuales se tuvieron en cuenta una serie de características propias de cada zona de estudio. Principalmente se identificó la infraestructura vial presente y la información socioeconómica de la zona. De la infraestructura vial se analizaron las carreteras con mayor índice de congestión vehicular, su velocidad y su longitud, y como información socioeconómica se investigó el estrato económico y número de habitantes.

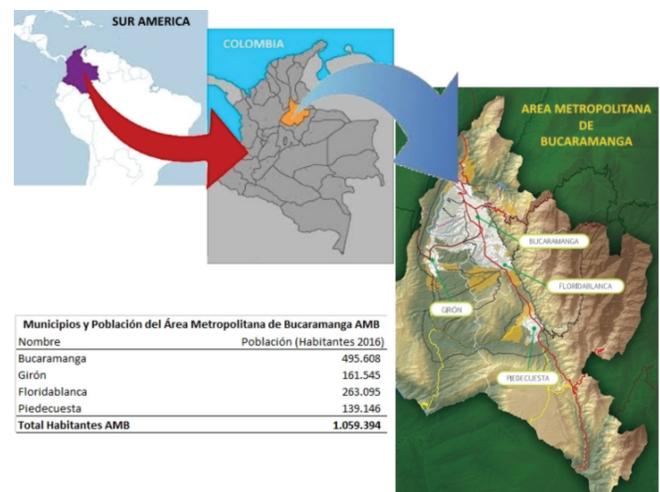


Figura 1. Ubicación del Estudio

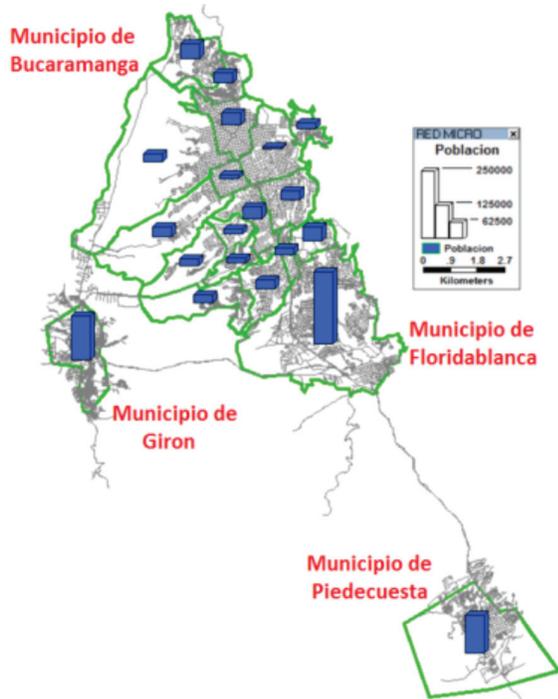


Figura 2. Descripción de la Malla vial y/o Información Socioeconómica del AMB

Simulación de la Malla Vial Existente (Actual)

Se proyecta la malla vial actual del Área Metropolitana de Bucaramanga en el software TransCad, acción ejecutada con el fin de poder generar matrices de tiempo, distribución de viajes e identificación de las vías con mayor congestión. Fines que ayudaran a concluir el mejor conjunto de vías nuevas que generen una optimización del uso de la malla vial existente y a su vez verificar por medio del nivel de accesibilidad su mejora en tiempos y costos generalizados del viaje.

Identificación de los Proyectos Viales (Futuros)

Teniendo en cuenta los proyectos viales futuros que se encuentran destinados para el Área Metropolitana de Bucaramanga en el Plan Maestro de Movilidad 2011 – 2030 (Área Metropolitana de Bucaramanga, 2011), se presenta la elección del mejor conjunto de vías que beneficiara a los habitantes, mejorando sus tiempos de viajes destinados dentro del área de estudio, para lo cual se procedió a seleccionar un conjunto ideal de vías proyectando una malla vial futura y su análisis de beneficios.

En el Cuadro 1 se podrán observar los 8 proyectos seleccionados, que a su vez cumplen la funcionalidad de anillo vial externo metropolitano y brindará una mejor distribución del tráfico.

Cuadro 1. Proyectos Futuros Viales Elegidos

No.	Corredores Viales	Tipo de Intervención
1	Anillo Vial Externo Tres Esquinas - Llano Grande	Construcción del Corredor
2	Anillo Vial Externo Llano Grande - Girón	Construcción del Corredor
3	Anillo Vial Externo Girón - Palenque	Adecuación del Perfil
4	Anillo Vial Centro Abastos - Café Madrid	Adecuación del Perfil
5	Circunvalar Del Norte	Construcción del Corredor
6	Circunvalar Oriental o de Los Cerros	Construcción del Corredor
7	Transversal Oriental Menzuli - Cerros	Adecuación del Perfil
8	Circunvalar Menzuli	Construcción del Corredor

En la Figura 3 se puede observar la infraestructura vial existente y se evidencia las falencias de conexión metropolitana que tiene esta malla vial, comenzando por la falta de vías conectoras entre el municipio de Piedecuesta, Floridablanca y Girón. En la Figura 4 se muestra por medio del software TransCad la simulación de la Malla Vial Futura, donde se contemplan los 8 proyectos seleccionados.

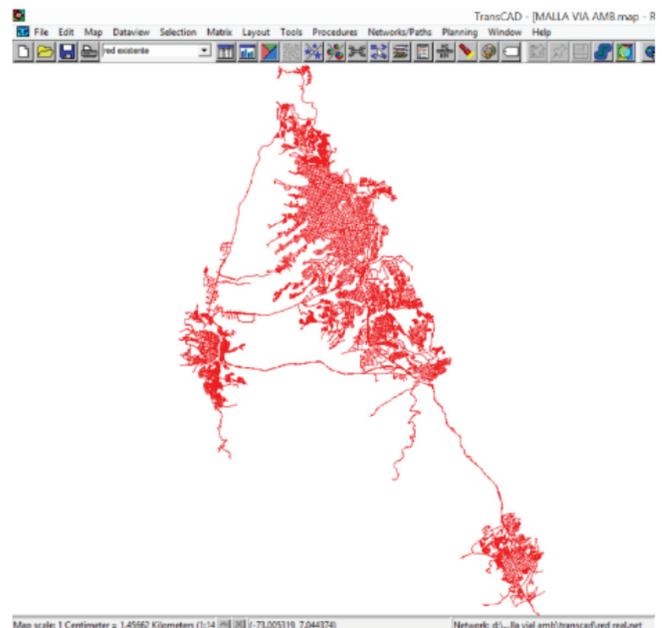


Figura 3. Simulación Malla Vial Existente

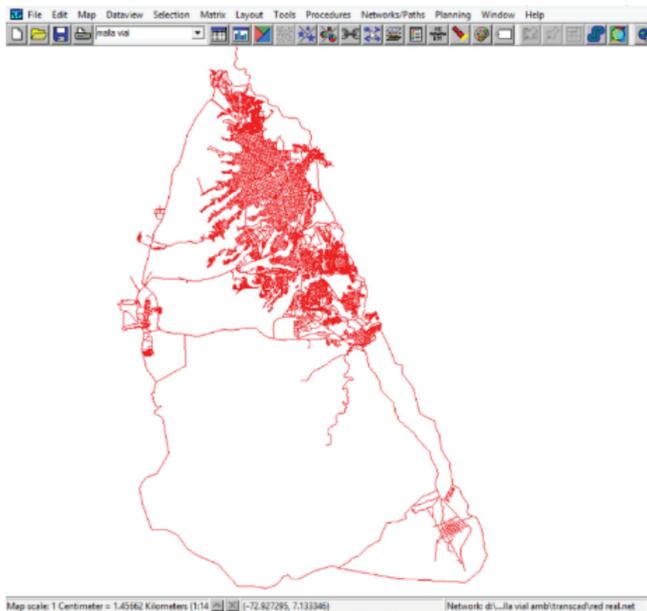


Figura 4. Simulación Malla Vial Futura

Localización de Centroides

Mediante la aplicación del software se determina el centroide de cada una de las 20 comunas, de acuerdo al área que se le asignó a cada una de ellas, este punto de centroide es el origen y el destino del viaje que genera o atrae la comuna, de acuerdo a esto se fijaron 20 centroides georreferenciados.

Matriz de Tiempos en la Malla Vial Actual.

Para realizar la toma de datos de los tiempos de viaje de un punto *i* hasta un punto *j* con las condiciones de tráfico actuales presentes en el Área Metropolitana de Bucaramanga, se utilizó la herramienta Waze (Waze Mobile Ltd., 2006), aplicación online de tráfico y navegación, como la información que maneja este sistema es en tiempo real toma en consideración los tiempos de semáforos, velocidades actuales presentes en la vía y congestión vehicular. La toma de datos se realizó en las horas punta del sector en análisis donde se presentaba la mayor congestión vehicular. De lo cual se tomaron 3 datos diarios de lunes a viernes, los 5 días de la semana, designando las horas punta a las 8 de la mañana, 12 del medio día y 7 de la noche. Debido a esto se obtuvieron 3 matrices de tiempos reales de desplazamiento, de las cuales se promedió y se creó una cuarta matriz en representación.

Cálculo de las Isócronas de la Malla Vial Existente y Futura

Fueron realizadas para la planificación del transporte basadas en el tiempo de viaje de diferentes modos caminata, vehículos no motorizados o en vehículo motorizados. Una vez obtenidos los tiempos de viajes del transporte vehicular motorizado por toda la red vial del Área Metropolitana de Bucaramanga se procedió a elaborar las isócronas del área de estudio por medio del software informático Surfer 10, y obteniendo la representación de la malla vial existente y futura y los tiempos en llegar a la comuna 12 (centroide) ver Figuras 5 y 6.

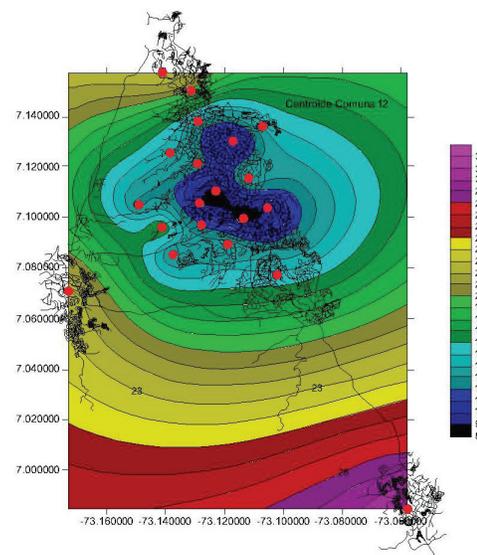


Figura 5. Isócronas Tiempo Existente

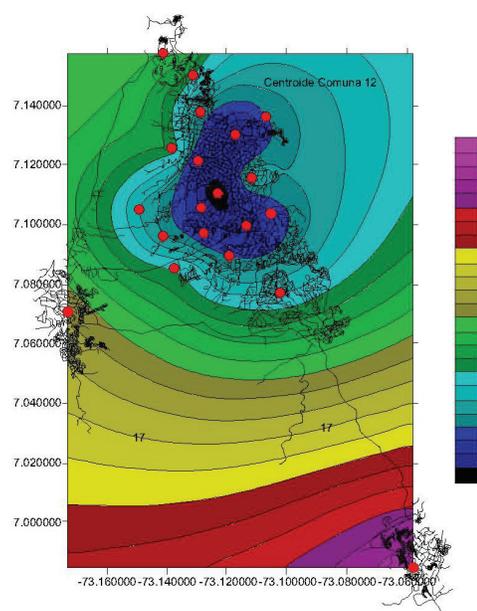


Figura 6. Isócronas Tiempo Futuro

Matriz Origen Destino (O-D)

Para el estudio de la malla vial futura fue necesario conocer cómo se desplazan los habitantes, para esto se realizó un estudio de origen y destino. Basado en los parámetros indicados por el Ministerio de Transporte de Colombiano (Ministerio de Transporte República de Colombia, 2011). mediante encuestas domiciliarias que permitieron conocer la información de los viajes que realizaron los habitantes, así como información socioeconómica, posesión de vehículo automotor y uso de medio de transporte público. El modelo de encuesta diseñado consta de cuatro etapas de preguntas, se realizaron 77 encuestas en cada una de las 20 comuna. El proceso de análisis y creación arrojó una base de 5277 viajes en total, con la cual se generó una matriz de viajes origen y destino.

Tamaño de la Muestra: Para calcular el tamaño de la muestra se utilizó la ecuación de estadística de muestreo propuesta por Scheaffer, Mendenhall, & Lyam, 1987 (Scheaffer et al., 1987). Donde establece dos tipos de fórmula según la población, en este caso como la población en estudio sobrepasa los 100.000 mil habitantes se utiliza la Ecuación (1).

$$n = \left[\frac{Z\hat{\sigma}}{E} \right]^2 \quad (1)$$

Donde,

Z: Corresponde al nivel de confianza

E: Error máximo

$\hat{\sigma}$: Coeficiente de variación

z=1,96 (Para un nivel de confianza de 95%)

Para el valor de E el cual establece Error máximo aceptable de la estimación se utilizará el valor de 0,05 lo cual significa que el error muestral es la diferencia que puede haber entre el resultado que se obtiene preguntando a una muestra de la población y el que se obtendría si se preguntara al total de ella, en conclusión los resultados estarán en un margen de $\pm 5\%$ del resultado real. Para las características del proyecto se asume que el coeficiente de variación es $\sigma = 1$, lo que significa que el valor de la media es igual a la desviación estándar, ver Ecuación (2) con sus correspondientes valores.

$$n = \left[\frac{1,96 \cdot 1}{0,05} \right]^2 = 1537 \text{ viviendas} \quad (2)$$

Expansión de la Muestra: Con el objetivo de convertir la muestra O-D en una muestra representativa para el universo de estudio. El factor de expansión debe multiplicar a los valores obtenidos de número de viajes generados y atraídos, según la Ecuación (3). Con esto se obtendrá la matriz de O-D real.

$$F.E. = \frac{N}{n} \quad (3)$$

Donde:

N: es el número de habitantes totales del área de estudio

n: es el número de habitantes a los cuales se les aplicó la encuesta,

Cuadro 2. Factor de Expansión

No. Comunas	Nombre	Población (N)	Encuestados (n)	Factor de expansión (F.E.)
1	Norte	54183	77	703,7
2	Nororiental	35035	77	455,0
3	San Francisco	44662	77	580,0
4	Occidental	38191	77	496,0
5	García Rovira	42092	77	546,6
6	La Concordia	26628	77	345,8
7	La Ciudadela	28933	77	375,8
8	Sur Occidente	18411	77	239,1
9	La Pedregosa	16623	77	215,9
10	Provenza	32299	77	419,5
11	Sur	28459	77	369,6
12	Cabecera	33404	77	433,8
13	Morrórico	52290	77	679,1
14	Oriental	22936	77	297,9
15	Centro	8627	77	112,0
16	Lagos Del Cacique	15045	77	195,4
17	Mutis	26723	77	347,1
18	Girón	161545	77	2098,0
19	Floridablanca	263095	77	3416,8
20	Piedecuesta	139146	77	1807,1

Planificación De Transporte Malla Vial Futura

Mediante el software TransCad se clasificaron las vías de la malla vial futura del Área Metropolitana de Bucaramanga por cantidad de vehículos que la recorrerán, las líneas rojas son las vías de mayor capacidad con un tránsito diario por encima de los 100.000 vehículos por día, las líneas moradas son las de segunda mayor capacidad con un tránsito diario comprendido entre 10.000 y 100.000 vehículos al día y por último estableció las vías de color azul como las menos transcurridas con un tránsito de 0 a 10.000 (ver Figura 7).

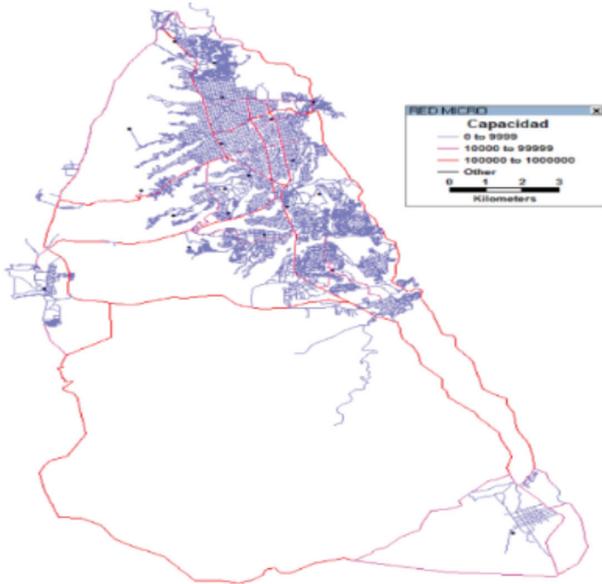


Figura 7. Distribución de Tráfico TransCad

Costo del Tiempo en Vehículo

Para determinar el precio del tiempo de desplazamiento en automóvil, se estimó el costo de operación de vehículo motorizados por kilómetro y luego se transformó dicho valor en tiempo.

Los elementos a considerar para establecer un costo variable de consumo de operación vehicular son: combustible, consumo de llantas y consumo de lubricantes, de esta manera se procede a encontrar un valor en pesos por kilómetro de cada uno de los elementos, después se procede a la suma de estos con el fin de obtener el costo total de operación.

Costo de Combustible (CC): El vehículo de referencia fue un automóvil liviano a gasolina con las siguientes características: motor 1,6 Litros, Transmisión manual 5 velocidades y llantas 185/60 R14, se tiene que para un galón de gasolina presenta un rendimiento promedio de 48,18 kilómetros (Autodaewoospark, 2016), el valor del galón de gasolina en el Área Metropolitana de Bucaramanga zona de estudio es de aproximadamente de \$7.869,00 COP / 2,72 USD (Ministerio de Minas y Energía, 2016).

Obteniendo el consumo y el precio se puede proceder a calcular el costo del combustible por kilómetro recorrido, realizando la Ecuación (4).

$$\text{Indicador Consumo de Combustible} = \frac{\text{Precio } \$/\text{Gal}}{\text{Consumo}/\text{Gal}} \quad (4)$$

$$\text{Indicador Consumo de Combustible} = \frac{\$7.869,00 \text{ GL}}{48,18 \text{ Km/GL}} = \$ 163,33 \text{ pesos por Km (0,055 USD)}$$

Costo del Consumo de Llantas (CLL): La resistencia promedio de una llanta 185/65 R14 es de (Popely, 2016). 80.000 Kilómetros y su valor en el mercado colombiano es de aproximadamente (Michelin, 2016) \$ 223.900,00 COP.

Obteniendo esta información se procede a remplazarla en la Ecuación (5)

$$\text{Indicador Consumo de Llantas} = \frac{\sum \text{No. Llantas} * \text{Precio de Llanta } (\$)}{\text{Duracion Llanta en Km}} \quad (5)$$

$$\text{Indicador Consumo de Llanta} = \frac{4 * 223900}{80000} = \$ 11,2 \text{ pesos por km (0,004 USD)}$$

Costo de Consumo de Lubricantes (CL): El cambio de aceite se deberá realizar cada 5.000 kilómetros aproximadamente y este cambio en el Área Metropolitana de Bucaramanga tiene un costo de \$ 60.000 COP.

Se reemplaza dentro de la ecuación. Ver Ecuación (6).

$$\text{Indicadores Consumo de Lubricantes} = \frac{\sum \text{No. Unidades Lubricantes} * \text{Precio } (\$)}{\text{Duracion Lubricante en Km}} \quad (6)$$

$$\text{Indicadores Consumo de Lubricantes} = \frac{1 * 60000}{5000} = \$ 12 \text{ pesos por km (0,004 USD)}$$

Costo total: se procede a realizar la sumatoria de los costos variable de consumo de operación analizados para la operación de un vehículo motorizado en un kilómetro de motor 1,6 litros a gasolina, transmisión manual 5 velocidades y llantas 185/60 R14 dentro de la red vial presente en el Área Metropolitana de Bucaramanga. Ver Ecuación (7).

$$\text{Costo Operacion Vehicular} = \text{CC} + \text{CLL} + \text{CL} \quad (7)$$

$$\text{Costo Operacion Vehicular} = 163,33 + 11,2 + 12 = \$ 186,53 \text{ pesos por km (063 USD)}$$

Obteniendo el precio de recorrido por kilómetro, se realiza la conversión de dicho valor a minutos, para esto se debe determinar la velocidad promedio de recorrido dentro de la malla vial futura y así fijar el tiempo de recorrido promedio de un kilómetro y establecer el valor del mismo. La velocidad promedio de recorrido es de 55 km/h.

Se determina el tiempo de recorrido de un kilómetro. Ver Ecuación (8).

$$\text{Tiempo km} = \frac{\text{Distancia (km)}}{\text{Velocidad } \left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)} \quad (8)$$

$$\text{Tiempo km} = \frac{1 \text{ km}}{50 \text{ km/h}} = 0,02 \text{ h} = 1,2 \text{ min} = 1 \text{ min } 12 \text{ seg}$$

“Un kilómetro se recorre en 1 minuto y 12 segundos y tiene un costo de operación vehicular de \$ 186,53 pesos.”

Análisis del Costo Generalizado del Viaje

Por medio de este análisis se va a determinar en costo generalizado del viaje, los beneficios económicos que traería la implementación de los 8 proyectos seleccionados. La idea principal de este análisis es tomar un promedio de costo de construcción de los 8 proyectos denominados “Anillo Vial Externo”, y definir el tiempo que se tomaría de los minutos de ahorro para poder satisfacer a cabalidad la inversión de los proyectos, de esta manera se está analizando la propuesta planteada a la solución de movilidad en el AMB. De la estadística principal se obtiene que el valor por minuto sea de \$ 157,94 pesos, ahora se multiplica este valor por la cantidad de minutos ahorrados en un día para así determinar el costo de los beneficios.

Lo primero que se realizó para obtener el resultado buscado fue multiplicar la matriz de tiempos de ahorro por la matriz origen y destino, recordando que la matriz origen destino define la cantidad de viajes que se realizan desde un punto A hasta un B de la red. Al multiplicar la cantidad de viajes por los minutos ahorrados de un solo viaje se obtiene el valor total de minutos disminuidos, el cual corresponde a 27.639.244 minutos en toda la red del Área Metropolitana de Bucaramanga Futura, ahora se procede a multiplicar dicho valor en costo por el establecido anteriormente. Ver Ecuación (9).

$$COSTO\ DIARIO\ AHORRADO = 27639244 * 157,94 = \$ 4.365.342.197,36 \quad (9)$$

Se está creando un ahorro en pesos diarios de \$ 4.365.342.197,36 .

En promedio para el país colombiano se gasta \$1.500 millones de pesos en Construir un kilómetro-carril (1.000 metros de largo por 3,5 metros de ancho).

En total para la ejecución de los 8 proyectos contemplados dentro de la malla vial futura de este proyecto, se necesitara una inversión total de \$ 751.800.000.000,00 COP, este valor dividido entre el costo ahorrado diario por desplazamientos en la red, va a determinar la cantidad de días en los cuales se va a recuperar dicha inversión. Tendremos la siguiente Ecuación (10)

$$Numero\ de\ Dias = \frac{751800000000}{4365342197,36} = 172,2 = 173\ dias. \quad (10)$$

Se requieren 173 días después de haber ejecutado dichos proyectos para recuperar la inversión en condiciones de tiempos de viajes ahorrados.

RESULTADOS

Análisis Sistémico de la Red

Descripción de la Infraestructura Vial existente y la Infraestructura Vial Futura: Se generaron 9.507 nodos y 14.207 arcos que se contemplan como la red inicial de trabajo y se denomina “Malla Vial existente o Real”, a cada arco se le destino unos atributos necesarios para este proyecto de estudio, los cuales fueron: longitud (km), velocidad (km), tiempo de recorrido y nombre de la vía. La situación futura de la infraestructura vial está compuesta por 9.535 nodos y 14.237 arcos, presenta 28 nodos y 30 arcos más que la Malla Vial Real, esto debido a que en la situación futura se consideran 8 futuras inversiones.

Análisis de Carácter Retístico de la Malla Vial existente

Topología de la Red - Malla Vial existente: Para analizar la Malla Vial existente desde su topología, se estudiaron los Indicadores de Conexión según el Cuadro 3.

Cuadro 3. Indicadores de conexión y Conectividad

β de Kansky	1,4943
η , Eta	0,093 km
Q, Cociente entre diámetro y extensión total de la red	0,019
γ , Gamma	0,000314
γ , Gamma %	49,82 %
NC, número ciclomatico	4701
Ω , alfa	0,247

Al analizar los resultados obtenidos se puede deducir lo siguiente, la malla vial existente está bien conectada ya que el número de arcos supera el de nodos, la distancia media de los arcos presente es de 0,093 kilómetros definidos por el índice **Eta** y la red es mallada ya que el resultado del coeficiente entre diámetro y extensión se acerca a cero. El índice gamma (γ) el cual dio 0,000314, dice que la malla vial existente cuenta con un número de arcos muy pequeño con relación al número ideal el cual sería para este caso 90.373.542, este índice se verifica por la relación en porcentaje la cual dio 49,82 % e indica que cada nodo de la red se podría introducir un 49,82 % del total de arcos para poder obtener un grafo más completo. A su vez el índice alfa aclara que la malla vial estudiada presenta un número de circuitos muy bajo con un 0,247 y comparado con el ideal el cual seria 4,701.

Indicadores de Accesibilidad Malla Vial Existente: El índice de accesibilidad se determinó por indicadores (Madrid y Ortiz, 2005), el número asociado (NS) el cual corresponde al valor más alto de los tiempos de viajes (tiempos de filas) y define el tiempo máximo que debe transcurrir para acceder al centroide correspondiente de esa fila, siendo el tiempo mayor como el centroide menos accesible, el número Shimmel (Shi) que corresponde a la sumatoria de los tiempos (tiempos de filas) el cual define los valores más altos como los centroides con un acceso más difícil. Y por último indicador se estableció el Índice Omega que es el porcentaje de accesibilidad que presenta cada centroide, entre menor sea este valor mayor accesibilidad va a presentar ese nodo, ver Ecuación (11) y Cuadro 4.

$$\Omega (\text{Omega}) = \frac{\text{Shi} * \text{Shi min}}{\text{Shi min} * \text{Shi max}} * 100 \quad (11)$$

Donde: Ω (Omega): Porcentaje de Accesibilidad, Shi: Numero Shimmel del Centroide, Shi min: Numero Shimmel más bajo y Shi max: Numero Shimmel más alto.

Cuadro 4. Índice de Accesibilidad Malla Vial Real

No. Comunas	Nombre	NS	SHI	OMEGA
1	Norte	38	403	60
2	Nororiental	42	391	58
3	San Francisco	39	294	44
4	Occidental	37	301	45
5	García Rovira	33	278	41
6	La Concordia	27	241	36
7	La Ciudadela	30	235	35
8	Sur Occidente	30	245	37
9	La Pedregosa	28	245	37
10	Provenza	26	308	46
11	Sur	31	302	45
12	Cabecera	31	282	42
13	Morrórico	41	387	58
14	Oriental	35	284	42
15	Centro	32	261	39
16	Lagos Del Cacique	28	302	45
17	Mutis	37	346	52
18	Girón	35	431	64
19	Floridablanca	26	382	57
20	Piedecuesta	41	671	100

Análisis de Carácter Retístico Malla Vial Futura

Carácter Cinético de la Malla Vial Futura

Para este grafo final se establecieron unas velocidades medias de operación de acuerdo a la jerarquía de la vía, estas

velocidades fueron tomadas del Plan Maestro de Movilidad del Área Metropolitana de Bucaramanga, cabe mencionar que se seleccionaron unas velocidades por debajo de las mencionadas en el plan maestro, ya que se tuvieron en cuenta los tiempos de semaforización presente en algunas vías de la malla vial (Cuadro 5).

Cuadro 5. Velocidades de Diseño

Vía Metropolitana Primaria	Vía Metropolitana Secundaria	Vía Municipal
80 km/h	45 km/h	40 km/h

Fuente: (Area Metropolitana de Bucaramanga, 2011)

Topología de la Red - Malla Vial Futura

Indicadores de Conexión de la Malla Vial Futura: Para la red de comparación denominada malla vial futura. Se establecieron los valores de las características principales de este grafo futuro, tales como: número de nodos presentes en el grafo (9.535 nodos), número total de arcos (14.237 arcos) y longitud total de la red (1.391,09 km) (Cuadro 6).

Cuadro 6. Indicadores de Conexión y Conectividad

β de Kansky	1,4931
η , Eta	0,098 km
Q, Cociente entre diámetro y extensión total de la red	0,018
γ , Gamma	0,000313
γ , Gamma %	49,78 %
NC, número ciclotómico	4703
Ω , alfa	0,246

Al analizar los resultados se deduce que la malla vial futura está bien conectada ya que el número de arcos supera el de nodos, la distancia media de los arcos presente es de 0,098 kilómetros definidos por el índice Eta y la red es mallada ya que el resultado del coeficiente entre diámetro y extensión se acerca a cero. El índice gamma el cual dio 0,000313, dice que la malla vial futura cuenta con un número de arcos muy pequeño con relación al número ideal el cual sería para este caso 90.906.690, este índice se verifica por la relación en porcentaje la cual dio 49,78 % e indica que cada nodo de la red se podría introducir un 49,78 % del total de arcos para poder obtener un grafo más completo. A su vez el índice alfa aclara que la malla vial estudiada presenta un número de circuitos muy bajo con un 0,246 y comparado con el ideal el cual sería 4.703 (Cuadro 7).

Cuadro 7. Indicadores de Conexión y Conectividad

No. Comunas	Nombre	NS	SHI	OMEGA
1	Norte	35	281	51
2	Nororiental	33	255	47
3	San Francisco	30	201	37
4	Occidental	32	271	49
5	García Rovira	30	205	37
6	La Concordia	26	146	27
7	La Ciudadela	26	153	28
8	Sur Occidente	26	161	29
9	La Pedregosa	23	149	27
10	Provenza	23	181	33
11	Sur	27	232	42
12	Cabecera	25	152	28
13	Morrórico	29	206	37
14	Oriental	27	163	30
15	Centro	27	147	27
16	Lagos Del Cacique	25	199	36
17	Mutis	30	205	37
18	Girón	29	314	57
19	Floridablanca	20	239	44
20	Piedecuesta	33	549	100

El índice de Omega determina la accesibilidad relativa o topológica de la red, cuando el nodo presenta una accesibilidad alta significa que el porcentaje de omega es bajo y cuando la accesibilidad es mínima significa que el porcentaje es alto. Comparando los diferentes índices Omega para la malla vial existente, se tiene que de este caso de estudio el centroide más accesible es el de la fila 7 denominada “La Ciudadela”, con un porcentaje de índice Omega de 35. Para la malla vial futura, se estableció que las comunas 6 y 9 denominadas La Concordia y La Pedregosa presentan un porcentaje menor de índice Omega de 27. Indicando que estas comunas presentan una mejor ubicación geográfica, una mejor conexión vial con la red futura destinada para el Área Metropolitana de Bucaramanga y una mejor distribución del tráfico interno, características que ayudan a obtener los mejores tiempos de viaje.

Análisis Comparativo entre la Malla Vial Existente y la Malla Vial Futura

Con los resultados obtenidos de los índices de conectividad y conexión, se identificaron cuales de los dos escenarios se encuentra en mejores condiciones de distribución, conectividad y cohesión.

De acuerdo al primer indicador β de Kansky se puede deducir que se está trabajando con una red bien conectada o compleja tanto en la malla vial existente como en la futura, pero el grafo futuro presenta un índice menor a la malla actual lo cual refleja que dicha red es menos compleja, es decir, que la malla vial futura presenta mayor cantidad de nodos pero no de todos ellos se desprenden múltiples arcos.

El segundo indicador η Eta establece la distancia media entre nodos que presenta cada red, de acuerdo a los datos obtenidos la malla vial futura presenta un aumento del 5,38%.

Del indicador de cociente entre diámetro y extensión total de la red se puede indicar que se está trabajando en los dos escenarios propuestos con una malla vial mallada.

El índice gamma, muestra que la malla vial futura presenta un número de arcos menor que la malla existente, pero en los dos escenarios se tienen valores muy pequeños en comparación del valor ideal, a su vez el porcentaje gamma de la malla vial futura menciona que cada nodo se puede introducir un 49,78 % más a los arcos presentes en la red para hacerla más completa.

Y por último el índice alfa indica que en los dos escenarios presenta un valor muy bajo de los circuitos de la red determinados en el índice anterior, en comparación con el ideal que se debería tener con la cantidad de nodos y arcos presentes. Al obtener un aumento de nodos y arcos en la malla vial futura se aumenta el número de circuitos existentes y el número de circuitos ideales.

De las isócronas de tiempo real y futuro ilustradas se puede destacar la disminución de los tiempo principalmente de los viajes realizados dentro del Municipio de Bucaramanga, ya que en las isócronas de tiempo actual presenta un tiempo máximo de recorrido interno de 16 minutos y en las isócronas futura presenta tiempo de 10 minutos gracias a las condiciones que presenta la red futura.

De igual forma el viaje más largo registrado dentro del Área Metropolitana es el de Piedecuesta – Bucaramanga, el cual dentro de las isócronas actuales presenta un tiempo máximo de 32 minutos aproximadamente desde el centroide interno

denominado Cabecera, este mismo viaje con las mismas condiciones tiene un tiempo máximo de 26 minutos en el grafo futuro, obteniendo una disminución de 6 minutos.

Realizando la debida comparación por medio de la accesibilidad, se puede mencionar que la malla vial real cuenta con un porcentaje menor de 35% en la comuna 7 denominada “La Ciudadela”, la cual mediante el porcentaje hallado es la comuna con mayor accesibilidad de esta red, al compararlo con la malla vial futura la cual tiene un porcentaje menor de índice Omega de 27% en la comuna 9 denominada “La Pedregosa”, que de igual manera cuenta con el menor porcentaje, es la comuna más accesible del grafo futuro, de acuerdo a estos dos porcentajes se puede asumir que los proyectos viales del anillo vial externo incluidos en la red futura generaron un aumento de accesibilidad de la red total de un 8% en general, lo que significa, que se pasa de tener tiempos mínimos de 8 y 9 minutos a 2 y 3 minutos.

CONCLUSIONES

Se comprobó que realmente se puede realizar una inversión óptima de los recursos del departamento para la infraestructura vial, en función de un estudio de accesibilidad que condicione la inversión a los proyectos que realmente beneficiaran a la comunidad, con el fin de generar una disminución de tiempo y costo de desplazamiento vehicular; eliminando de todo contexto el beneficio económico de un particular. Por medio de la implementación de los 8 proyectos de infraestructura vial, establecidos en la malla vial futura se generó ahorros en pesos colombianos de \$4.365 millones (1,51 millones de USD).

En total para la ejecución de los 8 proyectos se contemplan una inversión aproximada de \$751.800.000.000,00 para este desarrollo se requieren 173 días después de haber ejecutado dichos proyectos para recuperar la inversión en condiciones de tiempos de viajes ahorrados, adicionándole por demás un gran beneficio para los habitantes del AMB, los cuales ahorran dinero y tiempo, por cada trayecto realizado de viaje.

Se creó una matriz de viajes origen – destino del Área Metropolitana de Bucaramanga donde se especifica el comportamiento de movilidad que poseen los habitantes, esto con el fin de brindar una ayuda a la planificación y expansión de la zona de estudio.

REFERENCIAS

1. Alcaldía Municipal de Floridablanca. (2012). *Plan de Desarrollo Primero Floridablanca 2012 - 2015*. Floridablanca: Alcaldía Municipal de Floridablanca.
2. Alcaldía Municipal de Floridablanca. (25 de 6 de 2015). *Alcaldía Municipal de Floridablanca*. Disponible: <http://www.floridablanca.gov.co/poblacion/>.
3. Alcaldía Municipal de Girón. (14 de 10 de 2015). *Alcaldía Municipal de Giron*. Recuperado el 02 de Noviembre de 2016. Disponible: http://www.giron-santander.gov.co/informacion_general.shtml.
4. Alcaldía Municipal de Piedecuesta. (26 de Noviembre de 2015). *Alcaldía Municipal de Piedecuesta*. Recuperado el 14 de Agosto de 2016. Disponible: http://www.alcaldiadepiedecuesta.gov.co/sitio/index.php?option=com_content&view=category&id=141&Itemid=179.
5. Área Metropolitana de Bucaramanga (2011). *Plan Maestro de Movilidad Área Metropolitana de Bucaramanga 2011 - 2030*. Bucaramanga.
6. Área Metropolitana de Bucaramanga (12 de Septiembre de 2016). *Área Metropolitana de Bucaramanga*. Recuperado el 10 de Noviembre de 2016. Disponible: <http://www.amb.gov.co/>. (Área Metropolitana de Bucaramanga 2016)
7. Autodaewoospark (4 de Noviembre de 2016). *Auto Daewoo Spark*. Recuperado el 12 de Agosto de 2016. Disponible: <http://www.autodaewoospark.com/rendimiento-combustible-aveo.php>.
8. Ben-Akiva, M., & Lerman, S. R. (s.f.). *Disaggregate travel and mobility choice models and measures of accessibility*. (A. D. Hensher, & R. P. Storper, Edits.) London, Croom-helm: Behavioural travel modelling.
9. Dalvi, M. Q., & Martin, K. M. (1976). The measurement of accessibility: some preliminary results. *Transportation*, 5(1), 17-42.
10. Hansen, W. G. (1959). How accessibility shapes land use. *Journal of the American Institute of planners*, 25(2), 73-76.
11. Madrid Soto, A., & Ortiz Lopez, L. M. (2005). *Análisis y Síntesis en Cartografía*. Bogotá: Centro Editorial Facultad de Ciencias Humanas, Universidad Nacional de Colombia. Disponible: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1239/>.

12. Martínez , E. J. (12 de Agosto de 2015). ¿Cómo está distribuida en cifras Bucaramanga? *Vanguardia*. Disponible: <http://www.vanguardia.com/santander/bucaramanga/infografia-170668-como-esta-distribuida-en-cifras-bucaramanga>.
13. Michelin. (12 de Octubre de 2016). *MICHELIN*. Recuperado el 14 de Noviembre de 2016. Disponible: <http://www.michelin.com.co/CO/es/tires/185/65/14.html>.
14. Ministerio de Minas y Energía (21 de 7 de 2016). *Ministerio de Minas y Energía*. Recuperado el 14 de Agosto de 2016. Disponible: <https://www.minminas.gov.co/precios-de-combustible>.
15. Ministerio de Transporte República de Colombia (19 de 09 de 2011). *Mintransporte*. Recuperado el 12 de Agosto de 2016. Disponible: https://www.mintransporte.gov.co/Documentos/documentos_del_ministerio/Manuales.
16. Oficina de Planeacion del Municipio de Bucaramanga (3 de Julio de 2016). *Alcaldia de Bucaramanga*. Recuperado el 02 de Noviembre de 2016, Disponible: <http://www.bucaramanga.gov.co/datos.asp>.
17. Popely, R. (14 de 10 de 2016). *Cars*. Recuperado el 01 de Noviembre de 2016. Disponible: <https://www.cars.com/articles/2013/05/how-long-do-tires-last/>.
18. Scheaffer, R., Mendenhall, W., & Lyam, O. (1987). Elementos de Muestreo. En *Elementos de Muestreo* (pág. 53). Mexico: Grupo Editorial Iberoamerica.
19. Salas Rondon, M. H. (2008). *ACCESIBILIDAD, ELEMENTO A CONSIDERAR EN LA INVERSIÓN DE INFRAESTRUCTURAS*. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.
20. Waze Mobile Ltd. (2006). *Waze*. Software. Disponible: <https://www.waze.com/es/>.