

ALTERNATIVA DE CABLE AÉREO EN LA CIUDAD DE MANIZALES



PRESENTADO POR:

Ing. AICARDO BARCO FAJARDO

TRABAJO DE GRADO:

MAESTRÍA EN INGENIERÍA – INFRAESTRUCTURA Y SISTEMAS DE TRANSPORTE

DIRECTOR:

PhD. DIEGO ALEXANDER ESCOBAR GARCIA

**MAESTRÍA EN INFRAESTRUTURA Y SISTEMAS DE TRANSPORTE
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
MANIZALES, COLOMBIA**

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi director de tesis el Doctor Diego Alexander Escobar Garcia por su orientación, asesoría, conocimiento aportado y acompañamiento en todo el proceso para culminar satisfactoriamente la tesis de maestría.

A la Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales, por abrirme sus puertas y darme la oportunidad de realizar mi carrera como ingeniero civil, la especialización en vías y la maestría. Al grupo de investigación dirigido por el Doctor Diego Escobar por su guía durante este tiempo.

Gracias a mi familia, en especial a mis padres Ruby Fajardo Lopez y Aicardo Barco Romero, por su crianza y estar siempre conmigo, enseñarme la importancia de aprender cada día y brindarme su apoyo en cada paso y decisión que he tomado.

A mi hermana Jessica, mi joven Padawan y futura ingeniera civil, espero seguir siendo un buen ejemplo y que logre todo lo que se proponga, siempre contará conmigo, así como yo he contado con su apoyo y cariño incondicional.

Para finalizar a mi abuelo Emilio Fajardo que desde pequeño me inculco sus valores y algunos de sus hábitos, los cuales me hicieron la persona que soy hoy. Espero dejar su nombre en alto y que siga orgulloso de mi, como yo lo soy de ser su nieto.

Contenido

Lista de Figuras	vii
Lista de Tablas.....	x
RESUMEN	1
1. Introducción.....	2
2. OBJETIVOS	5
2.1 Objetivo General.....	5
2.2 Objetivos específicos	5
3. Alternativas de cable aéreo.....	5
3.1 Líneas de cable aéreo - Arcos	5
3.1.1 Alternativa Uno	5
3.1.2 Alternativa Dos	6
3.1.3 Alternativa Tres.....	7
3.1.4 Alternativa Cuatro.....	7
3.1.5 Alternativa Cinco	8
3.1.6 Alternativa Seis	8
3.2 Estaciones de cable aéreo - Nodos.....	9
3.2.1 Estación barrio La Enea	9
3.2.2 Estación Bosque Popular.....	11
3.2.3 Estación barrio Pio XII.....	13
3.2.4 Estación La Gotera	15
3.2.5 Estación Milán - Glorieta.....	16
3.2.6 Estación Expoferias.....	17
3.2.7 Estación facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional.....	18
3.2.8 Estación del cable hacia Los Yarumos.....	19
3.2.9 Estación Barrio Sancancio – Loma Verde	20
3.2.10 Estación barrio Palermo – Cancha de Futbol.....	21
3.2.11 Estación Los Cámbulos.....	22
4. Marco Teórico	23
4.1 Movilidad Urbana Sostenible:	23
4.2 Medios de Transporte Urbano:	25

4.3 Cable aéreo	27
4.4 Modelos	31
4.5 Accesibilidad	32
4.6 Geoestadística	33
4.6.1 Algoritmo de Dijkstra.....	33
4.6.2 Gradiente de ahorro.....	34
4.6.3 Tiempo promedio de viaje.....	34
5. Metodología.....	35
5.1. Obtención de la información necesaria.....	36
5.2. Montaje de la red de transporte de Manizales en un sistema de información geográfico (SIG).	42
5.3. Cálculo de la accesibilidad media integral ofrecida por la red en los 6 escenarios posibles	44
5.4. Cálculo de la accesibilidad media global ofrecida por la red actual y en los 6 escenarios posibles	45
5.5. Cálculo del gradiente y los porcentajes de cobertura.....	46
6. Resultados.....	46
6. 1 Accesibilidad Media Integral.....	46
6.1.1 Alternativa 1	46
6.1.2 Alternativa 2.....	48
6.1.3 Alternativa 3.....	49
6.1.4 Alternativa 4.....	50
6.1.5 Alternativa 5.....	51
6.1.6 Alternativa 6.....	52
6.2 Accesibilidad Media Global	53
6.2.1 Actual	53
6.2.2 Alternativa 1	54
6.2.3 Alternativa 2.....	55
6.2.4 Alternativa 3.....	56
6.2.5 Alternativa 4.....	57
6.2.6 Alternativa 5.....	58
6.2.7 Alternativa 6.....	59
6.3 Gradientes	60

6.3.1 Alternativa 1	60
6.3.2 Alternativa 2	61
6.3.3 Alternativa 3	62
6.3.4 Alternativa 4	63
6.3.5 Alternativa 5	64
6.3.6 Alternativa 6	65
7. Argumento Comparativo	66
7.1 Accesibilidad Media Integral	66
7.2 Accesibilidad media global	67
7.3 Gradiente	68
8. Conclusiones	70
9. Bibliografía	71

Lista de Figuras

Figura 1. Localización geográfica de la ciudad de Manizales (OpenStreetMap).....	2
Figura 2. Torre del Cable (Juan Manuel García).....	3
Figura 3. Ruta Alternativa Uno (Fuente Propia)	6
Figura 4. Ruta Alternativa Dos (Fuente Propia).....	6
Figura 5. Ruta Alternativa Tres (Fuente Propia)	7
Figura 6. Ruta Alternativa Cuatro (Fuente Propia)	7
Figura 7. Ruta Alternativa Cinco (Fuente Propia).....	8
Figura 8. Ruta Alternativa Seis (Fuente Propia).....	8
Figura 9. Ubicación 1 Estación la Enea (Fuente Propia).....	9
Figura 10. Vista Satelital Barrio la Enea (GoogleMaps).....	10
Figura 11. Ubicación 2 estación la Enea (Fuente Propia)	10
Figura 12. Bosque Popular 1(Fuente Propia)	11
Figura 13. Vista Satelital Bosque Popular (GoogleMaps)	12
Figura 14. Bosque Popular 2 (Fuente Propia)	12
Figura 15. Ubicación 1 estación Barrio Pio XII (Fuente Propia)	13
Figura 16. Vista Satelital estación Barrio Pio XII (GoogleMaps).....	14
Figura 17. Ubicación 2 Estación Barrio Pio XII (Fuente Propia)	14
Figura 18. Vista Satelital Estación La Gotera (GoogleMaps)	15
Figura 19. Ubicación Estación La Gotera (Fuente Propia)	15
Figura 20. Vista Satelital Estación Milán - Glorieta (GoogleMaps)	16
Figura 21. Ubicación Estación Milán - Glorieta (Fuente Propia).....	16
Figura 22. Vista Satelital Estación Expoferias (GoogleMaps).....	17
Figura 23. Ubicación Estación Expoferias (Fuente Propia)	17
Figura 24. Vista Satelital Estación Facultad de Arquitectura Universidad Nacional De Colombia (GoogleMaps)	18
Figura 25. Ubicación Estación Facultad De Arquitectura Universidad Nacional De Colombia (Fuente Propia)	18
Figura 26. Vista Satelital Estación Cable - Yarumal (GoogleMaps)	19
Figura 27. Ubicación Estación Cable - Yarumal (Fuente Propia).....	19
Figura 28. Vista Satelital Estación barrio Sancancio - Loma Verde (GoogleMaps).....	20
Figura 29. Ubicación Estación barrio Sancancio - Loma Verde (Fuente Propia)	20
Figura 30. Vista Satelital Ubicación Estación Barrio Palermo - Cancha De Futbol (GoogleMaps).....	21
Figura 31. Ubicación Estación Barrio Palermo - Cancha De Futbol (Fuente Propia).....	21
Figura 32. Vista Satelital Estación Los Cábmulos (GoogleMaps).....	22
Figura 33. Ubicación Estación Los Cábmulos (Fuente Propia)	22
Figura 34. Sistema de Johan Hartlieb (1411) (Hotdog,2009, modificada).....	28
Figura 35. Esquema general del teleférico de Dantzig (Dieterich, 1908,26, modificada) ...	29
Figura 36. Sistema de Konig para sacar madera (Lindegger y Burgi, 2006, 329)	30
Figura 37. Red Vial de Manizales (Fuente Propia)	36
Figura 38. Número de rutas de transporte público (Fuente Propia)	41

Figura 39. Red con rutas de transporte público (Fuente Propia)	42
Figura 40. Curvas isócronas de accesibilidad media integral para el escenario 1 (Fuente Propia)	47
Figura 41. Gráfico de dispersión accesibilidad integral escenario 1 (Fuente Propia)	47
Figura 42. Curvas isócronas de accesibilidad media integral para el escenario 2 (Fuente Propia)	48
Figura 43. Gráfico de dispersión accesibilidad integral escenario 2 (Fuente Propia)	48
Figura 44. Curvas isócronas de accesibilidad media integral para el escenario 3 (Fuente Propia)	49
Figura 45. Gráfico de dispersión accesibilidad integral Escenario 3 (Fuente Propia)	49
Figura 46. Curvas isócronas de accesibilidad media integral para el escenario 4 (Fuente Propia)	50
Figura 47. Gráfico de dispersión accesibilidad Integral Escenario (Fuente Propia)	50
Figura 48. Curvas isócronas de accesibilidad media integral para el escenario 5 (Fuente Propia)	51
Figura 49. Gráfico de dispersión accesibilidad integral Escenario 5 (Fuente Propia)	51
Figura 50. Curvas isócronas de accesibilidad media integral para el escenario 6 (Fuente Propia)	52
Figura 51. Gráfico de dispersión accesibilidad integral Escenario (Fuente Propia)	52
Figura 52. Curvas isócronas de accesibilidad media global para el escenario Actual (Fuente Propia)	53
Figura 53. Gráfico de dispersión Accesibilidad global Escenario Actual (Fuente Propia) ...	53
Figura 54. Curvas isócronas de accesibilidad media global para el escenario 1 (Fuente Propia)	54
Figura 55. Gráfico de dispersión Accesibilidad global Escenario 1 (Fuente Propia)	54
Figura 56. Curvas isócronas de accesibilidad media global para el escenario 2 (Fuente Propia)	55
Figura 57. Gráfico de dispersión Accesibilidad global Escenario 2 (Fuente Propia)	55
Figura 58. Curvas isócronas de accesibilidad media global para el escenario 3 (Fuente Propia)	56
Figura 59. Gráfico de dispersión Accesibilidad global Escenario 3 (Fuente Propia)	56
Figura 60. Curvas isócronas de accesibilidad media global para el escenario 4 (Fuente Propia)	57
Figura 61. Gráfico de dispersión Accesibilidad global Escenario 4 (Fuente Propia)	57
Figura 62. Curvas isócronas de accesibilidad media global para el escenario 5 (Fuente Propia)	58
Figura 63. Gráfico de dispersión Accesibilidad global Escenario 5 (Fuente Propia)	58
Figura 64. Curvas isócronas de accesibilidad media global para el escenario 6 (Fuente Propia)	59
Figura 65. Gráfico de dispersión Accesibilidad global Escenario 6 (Fuente Propia)	59
Figura 66. Curvas isócronas del gradiente para el escenario 1 (Fuente Propia)	60
Figura 67. Gráfico de dispersión Gradiente Escenario 1 (Fuente Propia)	60
Figura 68. Curvas isócronas del gradiente para el escenario 2 (Fuente Propia)	61

Figura 69. Gráfico de dispersión Gradiente Escenario 2 (Fuente Propia).....	61
Figura 70. Curvas isócronas del gradiente para el escenario 3 (Fuente Propia).....	62
Figura 71. Gráfico de dispersión Gradiente Escenario 3 (Fuente Propia).....	62
Figura 72. Curvas isócronas del gradiente para el escenario 4 (Fuente Propia).....	63
Figura 73. Gráfico de dispersión Gradiente Escenario 4 (Fuente Propia).....	63
Figura 74. Curvas isócronas del gradiente para el escenario 5 (Fuente Propia).....	64
Figura 75. Gráfico de dispersión Gradiente Escenario 5 (Fuente Propia).....	64
Figura 76. Curvas isócronas del gradiente para el escenario 6 (Fuente Propia).....	65
Figura 77. Gráfico de dispersión Gradiente Escenario (Fuente Propia).....	65
Figura 78. Porcentaje de cobertura vs Tiempo de viaje (Fuente Propia)	66
Figura 79. Porcentaje de cobertura acumulado vs Tiempo de viaje (Fuente Propia).....	66
Figura 80. Porcentaje de cobertura vs Tiempo de viaje (Fuente Propia)	67
Figura 81. Porcentaje de cobertura acumulado vs Tiempo de viaje (Fuente Propia).....	67
Figura 82. Porcentaje de cobertura vs Porcentaje de tiempo ahorrado (Fuente Propia)	68
Figura 83. Porcentaje de cobertura acumulado vs Porcentaje de tiempo ahorrado (Fuente Propia)	68
Figura 84. Gradiente con acercamiento entre el 1% y 7% del tiempo ahorrado (Fuente Propia)	69

Lista de Tablas

Tabla 1. Proyección de los recursos necesarios para la implementación del plan	24
Tabla 2. Clasificación Medios de Transporte	27
Tabla 3. Comparativo de cables aéreos en Colombia.....	31
Tabla 4 Rutas del transporte público urbano de Manizales.....	37
Tabla 5. Caracterización de la red	43

ALTERNATIVA DE CABLE AÉREO EN LA CIUDAD DE MANIZALES

RESUMEN

La ciudad de Manizales, Caldas está condicionada por su topografía montañosa, donde predomina la ladera; Se responde urbanísticamente a este parámetro físico-espacial a través de la adaptación a la morfología del territorio, situación que desencadena en la preocupación por el desarrollo de diferentes alternativas en el sistema vial que mejoren la movilidad debido al aumento de vehículos automotor en la ciudad. Para el objeto de estudio se retoma el sistema actual de Cable Aéreo, que se desenvuelve en la transversalidad de la ciudad, conectando el centro de la ciudad con el terminal de transportes y el municipio de Villamaría; Se plantea un análisis de diferentes alternativas de recorridos para conectar la comuna Tesorito (Barrio la Enea – Aeropuerto – Universidad Nacional, Campus La Nubia–Sena) con la comuna Palogrande (Sedes Universidad Nacional – Universidad de Caldas–Estadio Palogrande – Palermo – Sancancio – Milán) y con la comuna Universitaria (Barrio Fátima – Barrio Pio XII – Terminal de transportes), el presente caso de estudio se desarrolla a través de un análisis geoestadístico para un esquema de accesibilidad integral y global, articulado por medio de los datos obtenidos de los tiempos medios de viaje que tienen en su recorrido las rutas de transporte público que están funcionando actualmente, para así, dar a conocer la alternativa que genera mayor accesibilidad, en este caso el escenario número cuatro, consiguiendo que una cobertura del 43% presenten disminuciones en los tiempos de viaje por medio del transporte público en más de 1% logrando una mayor inclusión social en el territorio.

ALTERNATIVE OF AERIAL CABLE IN THE CITY OF MANIZALES

ABSTRACTC

The city of Manizales, Caldas is conditioned by its mountainous topography, where the hillside predominates; this physical-spatial parameter is responded to urbanistically by adapting to the morphology of the territory, a situation that triggers concern for the development of different alternatives in the road system that improve mobility due to the increase in motor vehicles in the city. For the purpose of the study, the current system of aerial cable is resumed, which is developed in the transversality of the city, connecting the city center with the transport terminal and the municipality of Villamaria; An analysis of different alternatives of routes to connect the commune Tesorito (Barrio la Enea-Airport–Universidad Nacional la nubia–Sena), the commune Palogrande (Sedes Universidad Nacional–Universidad de Caldas–Estadio Palogrande–Palermo–Sancancio–Milan) and the commune Universitaria (Barrio Fátima–Barrio Pio XII–Terminal de transportes), the present case of study is developed through a geostatistical analysis for a scheme of integral and global accessibility, articulated by means of the data obtained from the average travel times that the public transport routes that are currently operating have on their route, in order to make known the alternative that generates greater accessibility, in this case scenario number four achieving that a coverage of 43% present decreases in travel times by means of public transport by more than 1% achieving greater social inclusion in the territory.

Palabras clave: Accesibilidad, conectividad, movilidad urbana, cable aéreo.

Keywords: Accessibility, connectivity, urban mobility, aerial cable.

1. Introducción

El municipio de Manizales se encuentra ubicado en el departamento de Caldas, en la región Centro – Occidente de Colombia a 2150 m.s.n.m., con una temperatura promedio de 16,7°C. La región cuenta con un perímetro urbano de 59,68 km² con una densidad media de 6.222 hab/km² y con 371.345 habitantes según el DANE (DANE; 2017). La malla vial de la ciudad presenta redes que se articulan de manera compleja y sistemas de transporte público que requieren alternativas de movilidad que complementen y sirvan de apoyo para aumentar la accesibilidad (Izquierdo y Rafael; 1994, Batty M; 1994), propiciando recorridos en menor tiempo (Escobar et al; 2013, Escobar et al; 2015) a través de las diferentes rutas distribuidas de manera estratégica, esto es esencial debido al aumento en el volumen del parque automotor que está presentando la ciudad como lo evidencia el último informe de Fenalco y la Andi donde la variación en la ciudad de Manizales es de 8.7%, para el departamento de Caldas es de 8.6%, las cuales están muy por encima del promedio nacional que es 2.8% (FENALCO; 2018) .

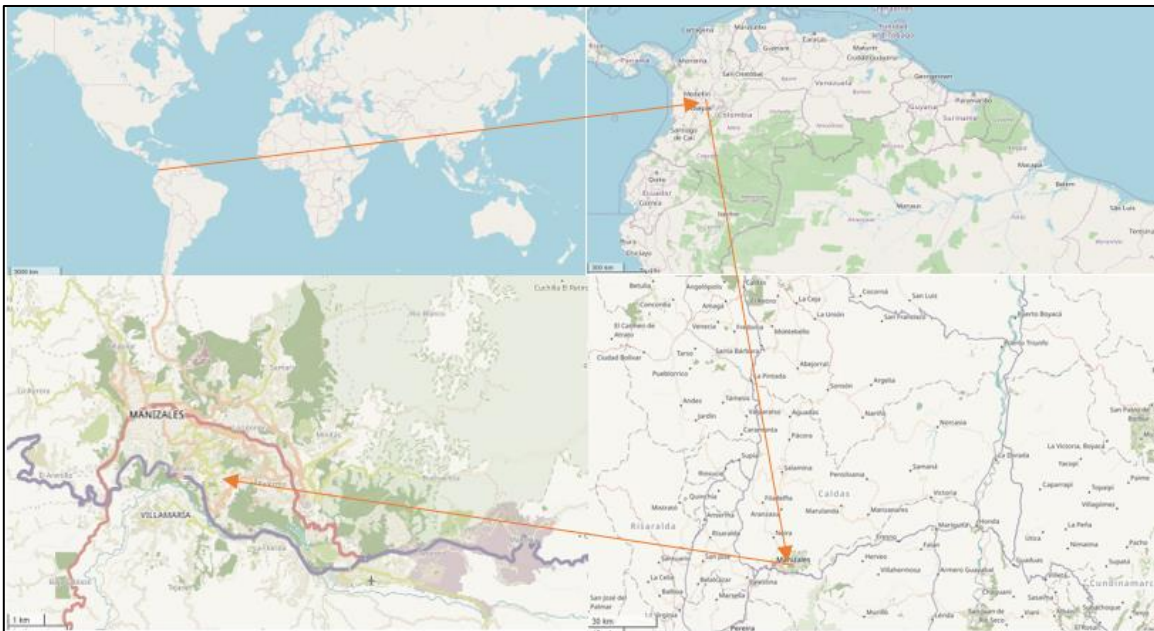


Figura 1. Localización geográfica de la ciudad de Manizales (OpenStreetMap)

El aumento del volumen vehicular en Colombia ha afectado a la mayoría de las ciudades, en especial aquellas que son capitales departamentales ya que cuentan con un mayor número de habitantes. En busca de una solución a esta problemática, ciudades como Manizales, Medellín, Cali, Bogotá y Pereira han optado por el cable aéreo como una alternativa para la movilidad, siendo Medellín en el año 2.004 la primera ciudad en usarlo para el transporte masivo de pasajeros. El cable aéreo de Medellín es conocido como Metrocable por hacer parte de la empresa de transporte masivo del Valle de Aburra Limitada Metro de Medellín Ltda., la cual se encarga de construir, administrar y operar el sistema de transporte masivo, cuenta con trenes, tranvías y buses, en lo referente a infraestructura del Metrocable, cuenta

con 498 cabinas, 11 estaciones y una longitud de 14,62 kilómetros (Metro de Medellín; 2016).

La ciudad de Manizales en el año 2.009 fue la segunda ciudad en usar el sistema de cable aéreo, seguida por la ciudad de Cali en el año 2015, esta última con 4 estaciones, 60 cabinas y una longitud total de 2,08 kilómetros. Este cable aéreo es conocido como Miocable ya que forma parte del sistema integrado de transporte masivo SITM-MIO, donde MIO significa Masivo Integrado de Occidente (MIO; 2019).

La última ciudad que cuenta con el sistema de cable aéreo en funcionamiento es Bogotá, desde el año 2018, este es conocido como transmicable debido a que forma parte del sistema integrado del transporte público SITP del cual también hacen parte los buses articulados de Transmilenio, el sistema de cable cuenta con 163 cabinas, 4 estaciones y una longitud de 3,34 kilómetros (Transmilenio; 2018). La ciudad de Pereira también optó por el sistema de cable aéreo, aunque esta se encuentra en etapa de diseño y construcción, se espera comience a operar en el transcurso del año 2020 y contará con 60 cabinas, 4 estaciones y 3,4 kilómetros de longitud, será conocido como Megacable, esto se debe a que formará parte del SITM-Megabus, otras ciudades de Colombia también se encuentran estudiando la posibilidad de integrar este tipo de sistemas en busca de mejorar la movilidad (Alcaldía Pereira; 2017).

Manizales ya había poseído mucho antes del 2009 el sistema de cable aéreo, el más importante de ellos conectaba la ciudad con la villa colonial de Mariquita, en el departamento del Tolima. Este inició trabajos en el año 1913 y empezó su funcionamiento una década después en el año 1923 siendo nombrado como el cable más largo del mundo en su época, con una longitud de 72 kilómetros, hasta el año 1973 que se suspendieron sus servicios definitivamente, en el presente aún quedan recuerdos de este famoso cable como es la estación del cable, donde funciona la facultad de arquitectura de la Universidad Nacional y la “Torre de Herveo” o también llamada “Torre del Cable” (Arango E.G; Banrepcultural).

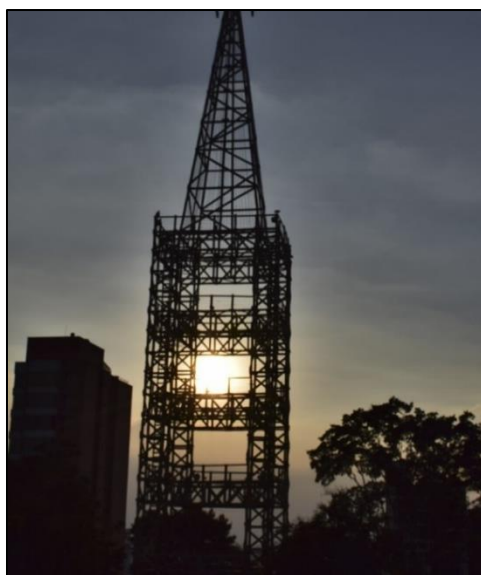


Figura 2. Torre del Cable (Juan Manuel García)

En la última década la ciudad ha realizado diferentes medidas para disminuir la congestión en la red vial (Escobar, 2015), la más notoria en cuanto a infraestructura fue la instalación del cable aéreo en octubre del 2009 para conectar el centro de la ciudad con el terminal de transporte, esta funciona actualmente y cuenta con tres estaciones llamadas Fundadores (Centro) – Betania (Sector la Fuente) y Cámbulos (Terminal), teniendo una longitud de 2,1 kilómetros. En el año 2011 se instaló una segunda línea de cable aéreo para comunicar la zona conocida como El Cable con el ecoparque Los Yarumos, la principal función de esta línea sería aumentar el turismo y con ello las visitas al ecoparque, pero no se cumplieron las expectativas esperadas, en el año 2012 fue suspendido debido a fallas técnicas, dejándolo sin funcionamiento hasta el año 2018 donde se realizó el desmonte de las cabinas (La Patria; 2018). Después de la fallida segunda línea de cable aéreo en Manizales y la baja demanda de servicio en el sistema se optó en el año 2014 por una nueva extensión de 720 metros (Cable aéreo de Manizales) a la línea que se encontraba en funcionamiento, ubicando la nueva estación en Villamaria, con la nueva estación se logró una mejora en la red de transporte de la ciudad y aumentar el número de pasajeros, que actualmente es de 11000 pasajeros diarios, la instalación de esta nueva línea logró una integración del sistema al municipio de Villamaria, logrando una longitud total de 2,82 kilómetros, contando con 42 cabinas y 4 estaciones.

La importancia del cable aéreo para la ciudad de Manizales ha hecho que sea uno de los puntos clave en el plan de ordenamiento territorial 2017 – 2031, el cual implementara un sistema estratégico de transporte público de Manizales – SETPM, que busca “Una reestructuración del sistema, que implica suprimir, modificar, recortar, fusionar, empalmar o prolongar las actuales rutas de transporte público, sin que para ello existan limitaciones de longitud, recorrido y/o nivel de servicio. Así mismo, modificar las frecuencias, horarios y clase, capacidad transportadora y número de vehículos”. Adicionalmente se ejecutarán diversas obras civiles y arquitectónicas para su correcto funcionamiento como lo son: paraderos, terminales de rutas y talleres (Alcaldía de Manizales; 2018).

El Plan de ordenamiento territorial - POT busca que la red de cable aéreo se vuelva un complemento del sistema estratégico de transporte público de Manizales – SETPM planteando nuevos proyectos para conectar diferentes sectores de la ciudad, estos son: Cámbulos – Sector Universitario, Cable – Sancancio, Sector el cable – Barrio la Enea, Sector el cable – Comuna ciudadela del norte, Sector Fundadores - Comuna ciudadela del norte, Sector Fundadores – Ciudadela Puerta del Sol, Parque del Agua – Ecoparque Alcázares, Sector Cámbulos – La Enea.

Para la obtención de este objetivo fue necesaria la realización de un análisis que parte de las alternativas de recorrido de cable aéreo (Escobar, D.A; Tapasco, O.A. y Giraldo, J.A; 2015], en búsqueda del mejoramiento de la movilidad y accesibilidad, ahorrando tiempos de viaje y propiciando una mayor conectividad entre los diferentes sectores de la ciudad. En el presente estudio se retomaron 6 alternativas de recorrido similares a las señaladas en el POT propuestas por la Universidad Nacional y se desarrolló un análisis estructurado a partir de los términos de accesibilidad.

2. OBJETIVOS

A continuación, se encuentra el objetivo general y los objetivos específicos que se alcanzaron con los resultados obtenidos en la presente investigación.

2.1 Objetivo General

Definir de los seis escenarios analizados cual es la alternativa más adecuada para una ruta adicional del sistema de cable aéreo, siendo esta la que proporciona una mayor accesibilidad en el territorio comprendido por la ciudad de Manizales.

2.2 Objetivos específicos

- Analizar seis alternativas mediante el modelo geoestadístico de Kriging y el algoritmo Dijkstra basándose en los sistemas de información geográfica.
- Calcular la accesibilidad media integral y la accesibilidad media global ofrecida por la red en los seis escenarios planteados.
- Interpretar los resultados obtenidos y llevar a cabo una comparación entre el escenario actual y los escenarios propuestos.

3. Alternativas de cable aéreo

A continuación se explican los recorridos por cada uno de los escenarios de cable aéreo analizados, así como la ubicación de las estaciones.

3.1 Líneas de cable aéreo - Arcos

3.1.1 Alternativa Uno

La primera alternativa se da partiendo del barrio La Enea, la siguiente estación llega al Bosque Popular después al Barrio Pío XII, continuando a una estación ubicada en el sector conocido como La Gotera y la última en exteriores de la facultad de arquitectura de la Universidad Nacional, en la zona del cable.

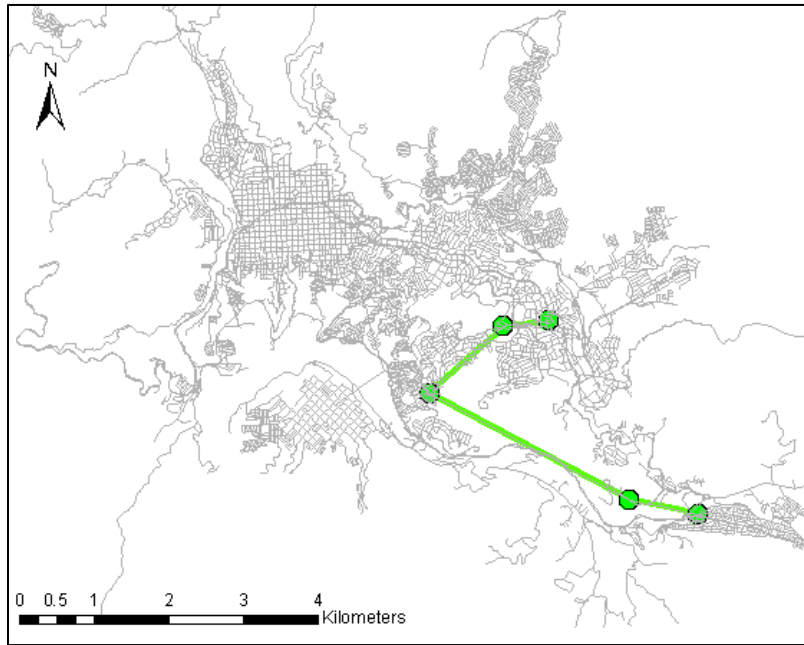


Figura 3. Ruta Alternativa Uno (Fuente Propia)

3.1.2 Alternativa Dos

El segundo planteamiento presenta un recorrido partiendo del barrio La Enea, pasando por una estación en el Bosque Popular, después al barrio Sancancio - Conjunto Loma Verde y se termina la ruta en el sector ubicado en exteriores de la facultad de arquitectura de la Universidad Nacional, en la zona del cable.

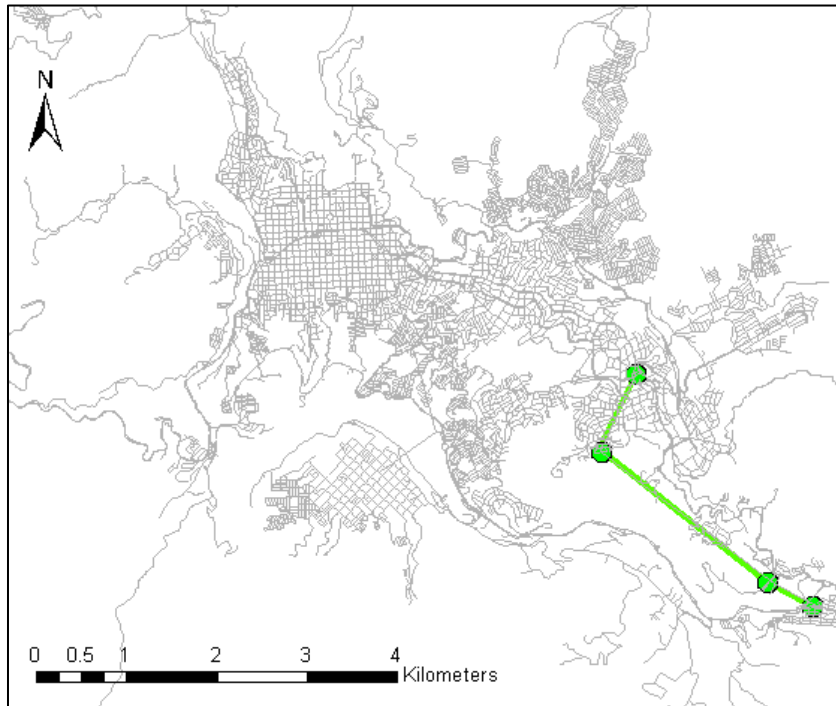


Figura 4. Ruta Alternativa Dos (Fuente Propia)

3.1.3 Alternativa Tres

El tercer planteamiento de recorrido parte del barrio La Enea, la siguiente estación llega al Bosque Popular después al barrio Palermo – Cancha de fútbol y por último llega a la estación del cable que conectaba con el Ecoparque los Yarumos.

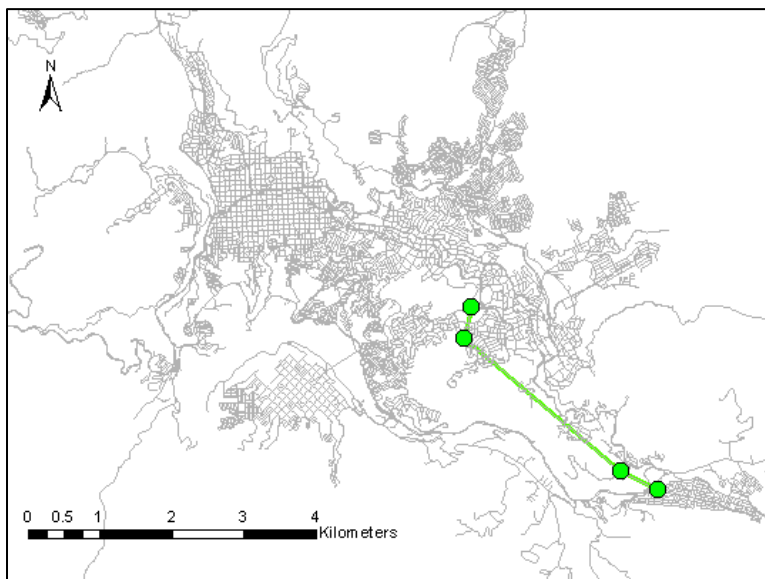


Figura 5. Ruta Alternativa Tres (Fuente Propia)

3.1.4 Alternativa Cuatro

El cuarto planteamiento de recorrido parte del barrio La Enea, la siguiente estación llega al Bosque Popular, después al barrio Milán – Glorieta y por último a la estación del cable que conectaba con el Ecoparque los Yarumos.

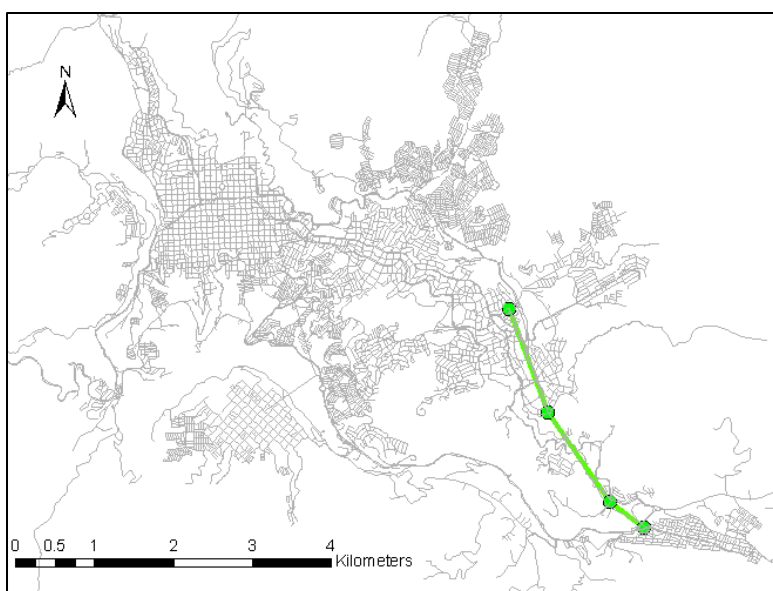


Figura 6. Ruta Alternativa Cuatro (Fuente Propia)

3.1.5 Alternativa Cinco

El quinto planteamiento de recorrido parte del Barrio La Enea, le sigue una estación en el Bosque Popular, después en el sector de Expoferias, siguiendo con otra en el barrio Milán – Glorieta y finaliza en la estación del cable que conectaba con el Ecoparque los Yarumos.

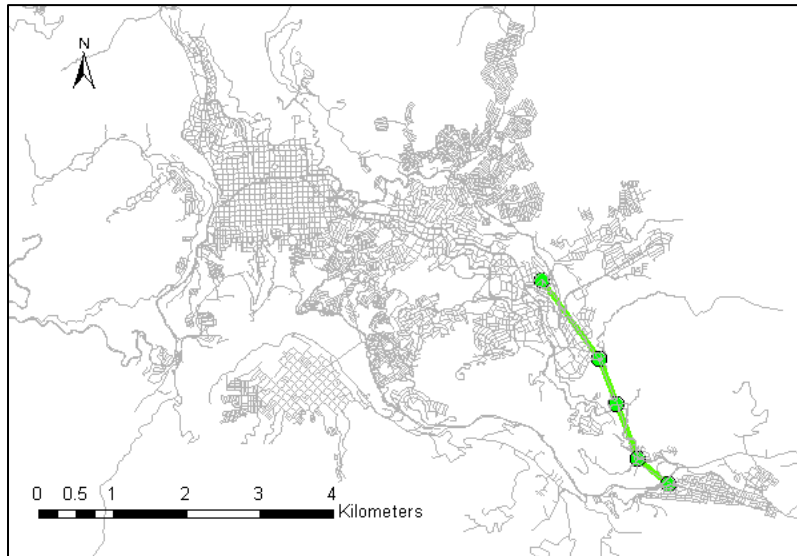


Figura 7. Ruta Alternativa Cinco (Fuente Propia)

3.1.6 Alternativa Seis

El sexto planteamiento de recorrido parte del barrio La Enea, siguiendo a la estación ubicada en el barrio Pio XII, la anterior estación genera una conexión con la estación del cable que conectaba con el Ecoparque los Yarumos y con la estación ubicada en el terminal de transportes.

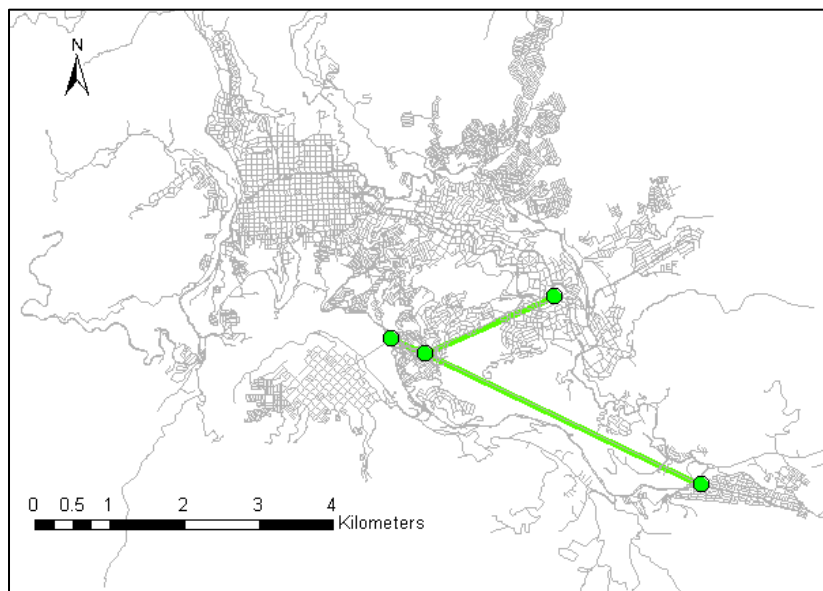


Figura 8. Ruta Alternativa Seis (Fuente Propia)

De acuerdo con las alternativas descritas anteriormente, se procede a realizar un breve análisis de cada una de las estaciones que las uniría, de las cuales ya se encuentran construidas dos de ellas, la estación del cable hacia Los Yarumos y la estación de los Cábmulos, el resto de las ubicaciones que hacen parte del estudio es infraestructura nueva.

3.2 Estaciones de cable aéreo - Nodos

3.2.1 Estación barrio La Enea

El barrio la enea pertenece a la comuna tesorito (Comuna 7), es uno de los nodos claves donde se ubicar una estación de cable aéreo en todas las alternativas debido a que es un punto estratégico, por el número de personas que habitan el sector, son aproximadamente 15.000 (La Patria; 2013), las cuales diariamente se dirigen al centro de la ciudad por diferentes motivaciones, otro hecho relevante para ubicar una estación de cable aéreo en este sector es por su cercanía a la universidad nacional de Colombia sede la Nubia, el Sena y el aeropuerto, lo cual genera un alto flujo de pasajeros.



Figura 9. Ubicación 1 Estación la Enea (Fuente Propia)



Figura 10. Vista Satelital Barrio la Enea (GoogleMaps)



Figura 11. Ubicación 2 estación la Enea (Fuente Propia)

3.2.2 Estación Bosque Popular

La estación bosque popular pertenece al barrio San Marcel ubicado en la comuna tesorito (comuna 7) al igual que el barrio La Enea, haciendo que las alternativas planteadas en esta investigación tengan un gran impacto en esa comuna, el bosque popular también es conocido como parque Bicentenario, el cual es un parque recreacional con gran número de visitantes, allí se encuentra una problemática bastante compleja por la naturaleza del servicio que brinda, no cuenta con el suficiente número de parqueaderos internos o externos para la cantidad de personas que hacen uso de este servicio, convirtiéndose en crítica los días domingos y festivos en los que la afluencia al parque aumenta de manera notoria teniendo hasta 18 mil personas en un día, y en semana grupos de 50 a 60 personas fijas que van a hacer ejercicio físico (La Patria; 2018), por lo anterior se ve necesario el estudio para evaluar el impacto que tendría ubicar allí una estación de cable aéreo que permita tener un control sobre los pasajeros, brindar un lugar seguro, confiable y que permita reducir los tiempos de viaje.



Figura 12. Bosque Popular 1(Fuente Propia)

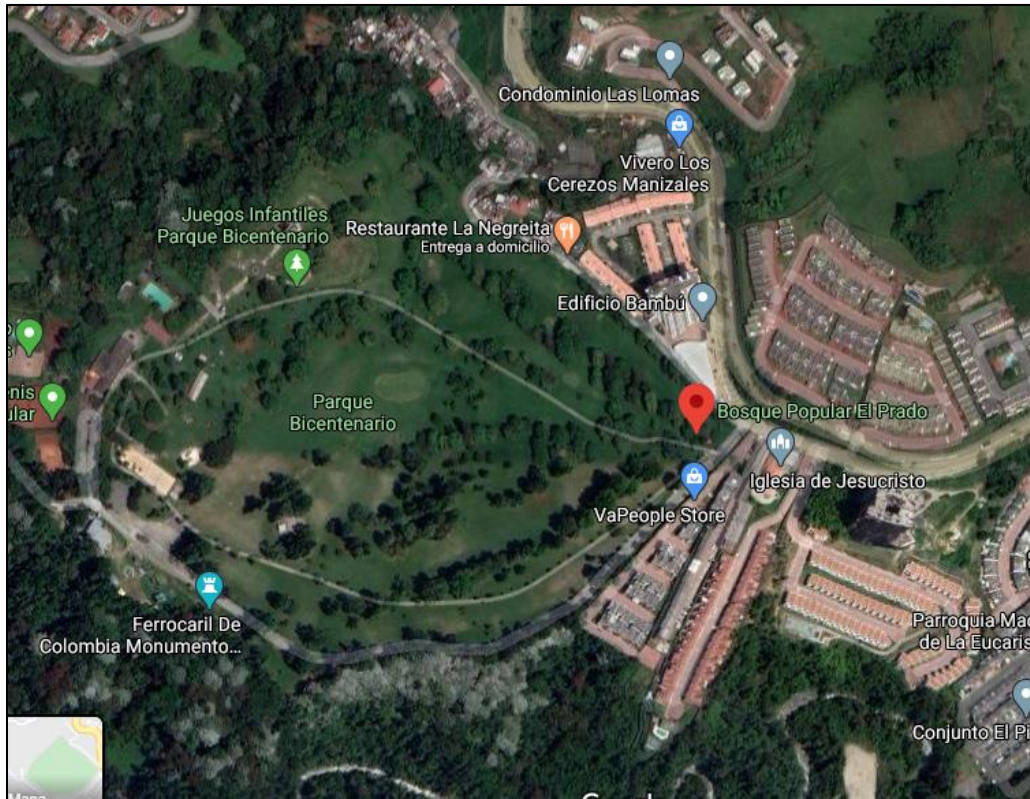


Figura 13. Vista Satelital Bosque Popular (GoogleMaps)



Figura 14. Bosque Popular 2 (Fuente Propia)

3.2.3 Estación barrio Pio XII

La estación Barrio Pio XII pertenece a la comuna universitaria (Comuna 9), se decide este sitio como un punto para ubicar una estación de cable aéreo debido al alto flujo vehicular que transita en este sector, presentándose trancones a diferentes horas del día, al ser usado tanto por vehículos privados como de transporte público, en los últimos años ha aumentado más el tráfico debido a que los vehículos que tienen pico y placa lo usan como una ruta alterna, otro factor importante para ubicar una estación de servicio allí es por ser un punto intermedio de dos zonas de alta afluencia de personas como es el sector del Cable y el terminal de transporte de Manizales, los tiempos de recorrido en este sector son muy altos debido a las rutas de servicio público que transitan por esta vía (Secretaria de Planeación; 2016), una estación de cable en este punto permitirá a los usuarios transportarse en menor tiempo de los barrios de Malabar, Pio XII, Aranjuez, Betania, Camilo Torres y Fátima y así permitir liberar este corredor vial del alto flujo vehicular.



Figura 15. Ubicación 1 estación Barrio Pio XII (Fuente Propia)



Figura 16. Vista Satelital estación Barrio Pio XII (GoogleMaps)



Figura 17. Ubicación 2 Estación Barrio Pio XII (Fuente Propia)

3.2.4 Estación La Gotera

La ubicación estratégica de una estación de cable aéreo en el parque de La Gotera, que pertenece a la comuna Palogrande (comuna 8) radica en que tiene un alto número de usuarios por su cercanía a la universidad de Caldas, que cuenta con aproximadamente 15.217 estudiantes y la universidad Nacional sede Palogrande con alrededor de 11.440 estudiantes (El observatorio de la universidad Colombiana; 2016), adicionalmente no cuenta con la capacidad para brindar estacionamiento al gran número de vehículos que llegan al sector, volviéndose un punto crítico los días que se realizan eventos en alguna de las dos universidades o en el estadio Palogrande.



Figura 18. Vista Satelital Estación La Gotera (GoogleMaps)



Figura 19. Ubicación Estación La Gotera (Fuente Propia)

3.2.5 Estación Milán - Glorieta

La estación que se proyecta en la glorieta del barrio Milán ubicado en la comuna Palogrande (comuna 8) es el punto culminante para el recorrido entre la parte más baja de la geografía en el barrio La Enea y que da acceso a toda la zona rosa de Milán, no solo por su funcionalidad sino que permite el acceso a barrios como Milán, la Alta Suiza y Palermo, también tiene una ubicación estratégica que en un futuro permitiría realizar el trasbordo a buses sobre la avenida Santander, otro aspecto para tener en cuenta esta zona es el bulevar Milán reconocido por ser una zona paisajística al contar también con el mirador de Niza, volviéndose una zona de gran atracción de usuarios.

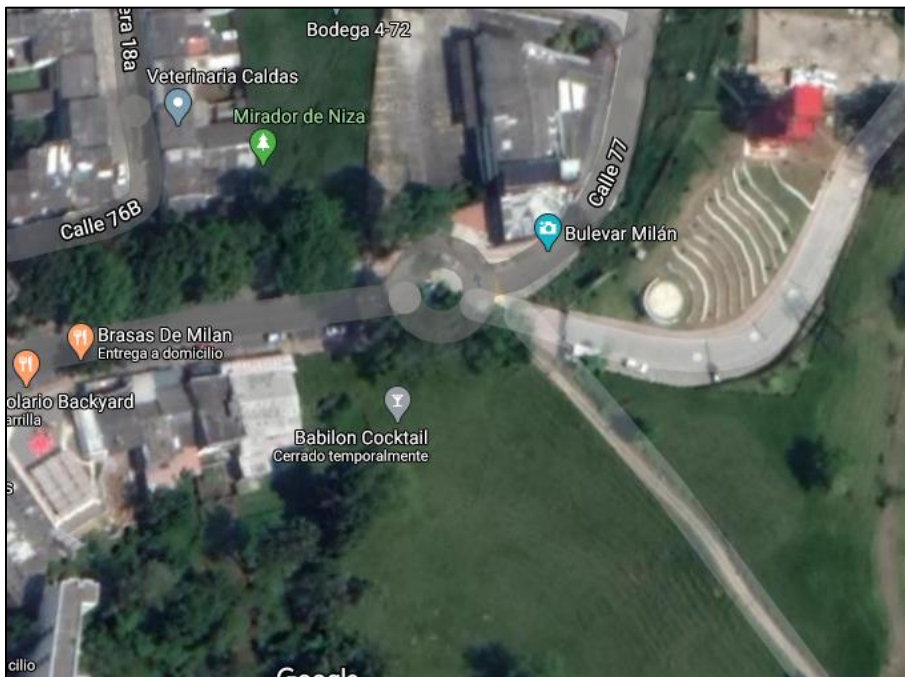


Figura 20. Vista Satelital Estación Milán - Glorieta (GoogleMaps)



Figura 21. Ubicación Estación Milán - Glorieta (Fuente Propia)

3.2.6 Estación Expoferias

La estación Expoferias permite un acceso directo a este centro de eventos, el cual es un punto que recibe una gran afluencia cuando se realizan presentaciones, pero por su ubicación al pie de la ladera no permite tener el espacio suficiente para el parqueo de vehículos en su interior o puntos cercanos, haciendo que en la vía doble calzada que se encuentra en ese punto los vehículos ocupen un carril a cada calzada, haciendo traumático el paso vehicular en el sector cuando se realizan eventos. Por este motivo la ubicación de una estación de cable aéreo en ese punto es muy conveniente para el servicio que allí se presta, además es un buen punto para el funcionamiento del cable que transita desde la enea hacia las partes altas de la ciudad reduciendo los tiempos de viaje y dando una alternativa a esta vía que cada año presenta más flujo vehicular.



Figura 22. Vista Satelital Estación Expoferias (GoogleMaps)



Figura 23. Ubicación Estación Expoferias (Fuente Propia)

3.2.7 Estación facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional

La estación del cable se ubica en exteriores de la facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional, se encuentra en la comuna Palogrande (comuna 8), es una estación de vital importancia debido a que es la culminación del recorrido para quienes se movilizan a las universidades del sector el cable, que se dirigen a la zona rosa o requieren hacer conexión con el resto de la ciudad por medio del transporte público, esto permite disminuir los tiempos de viaje de las personas que se dirigen de las zonas más bajas de la topografía manizaleña hacia la cúspide de la montaña conectando con la av. Santander a la altura del sector el cable.

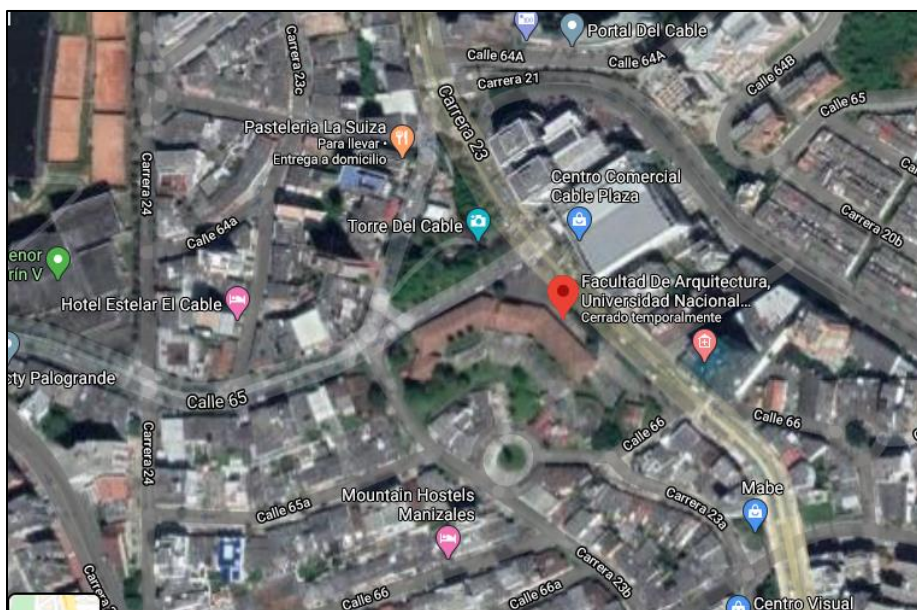


Figura 24. Vista Satelital Estación Facultad de Arquitectura Universidad Nacional De Colombia (GoogleMaps)



Figura 25. Ubicación Estación Facultad De Arquitectura Universidad Nacional De Colombia (Fuente Propia)

3.2.8 Estación del cable hacia Los Yarumos

Para este estudio se tuvo en cuenta que no sólo es importante generar nuevas estaciones sino también aprovechar las existentes, este es el caso de la estación del cable que conecta con el parque Los Yarumos, esta estación se busca ponerla en funcionamiento nuevamente con la intención de aprovechar la infraestructura existente en el cable y reactivar la estación que se encuentra dentro del Ecoparque, el cual podría convertirse en un punto más turístico dentro de la ciudad de Manizales, ya que por su ubicación se ha visto aislado, haciendo que el número de usuarios sea muy reducido.

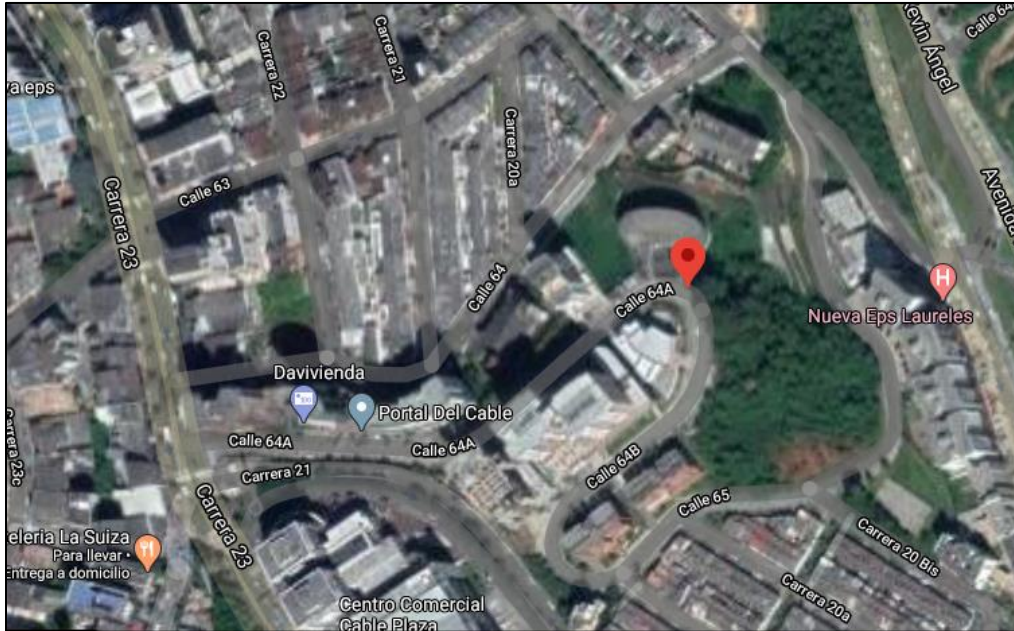


Figura 26. Vista Satelital Estación Cable - Yarumal (GoogleMaps)



Figura 27. Ubicación Estación Cable - Yarumal (Fuente Propia)

3.2.9 Estación Barrio Sancancio – Loma Verde

La estación Loma Verde se ubica en el barrio Sancancio, comuna Palogrande (comuna 8), esta estación cuenta con una ubicación ideal para hacer conexión con el cable proveniente del barrio la Enea en la parte más sur oriental del barrio Palermo permitiendo no solo llegar hacia estaciones como la sede arquitectura de la Universidad Nacional sino facilitando el transporte de los usuarios que viven en el barrio Palermo, la parte baja el batallón Ayacucho, Fátima, entre otros barrios siendo estos los más beneficiados con la construcción de dicha estación al permitir tener un nuevo medio de transporte en el sector.

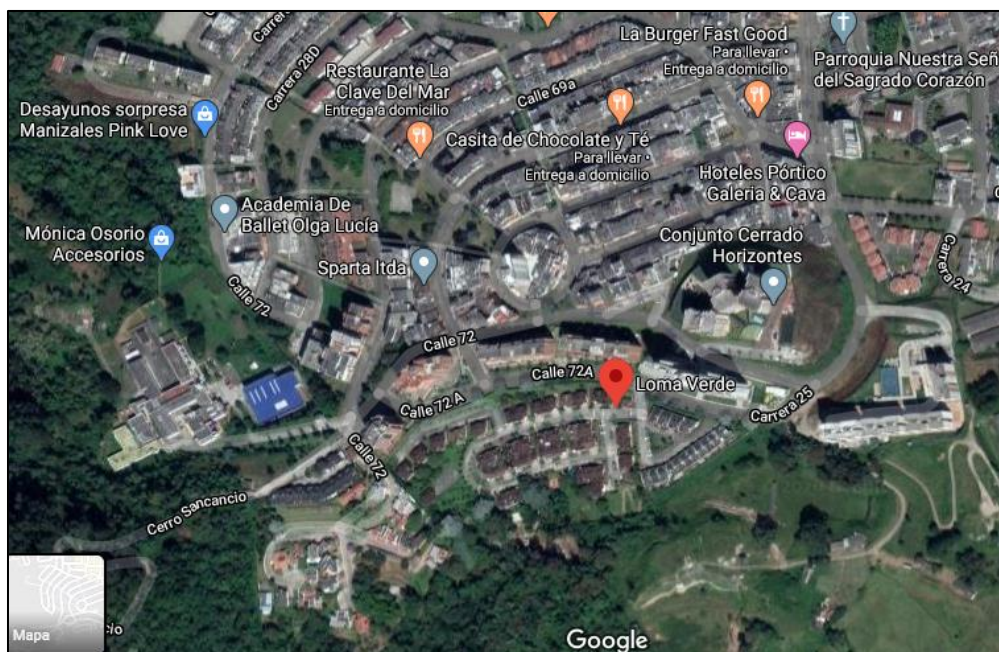


Figura 28. Vista Satelital Estación barrio Sancancio - Loma Verde (GoogleMaps)



Figura 29. Ubicación Estación barrio Sancancio - Loma Verde (Fuente Propia)

3.2.10 Estación barrio Palermo – Cancha de Futbol

Estación barrio Palermo permite el acceso a todas las personas que viven y laboran en la parte alta del barrio Fátima, así podrán tener un rápido acceso a la avenida Santander, debido a su ubicación favorece gran parte de los habitantes del barrio Palermo con su densa población de aproximadamente 2.619 habitantes (DANE,2016) y la gran movilización del sector obrero debido a la masiva construcción de edificios en la zona y el gran movimiento en la actividad económica, así como su proximidad con la biblioteca Rogelio Salmona y la facultad de veterinaria de la universidad de Caldas.

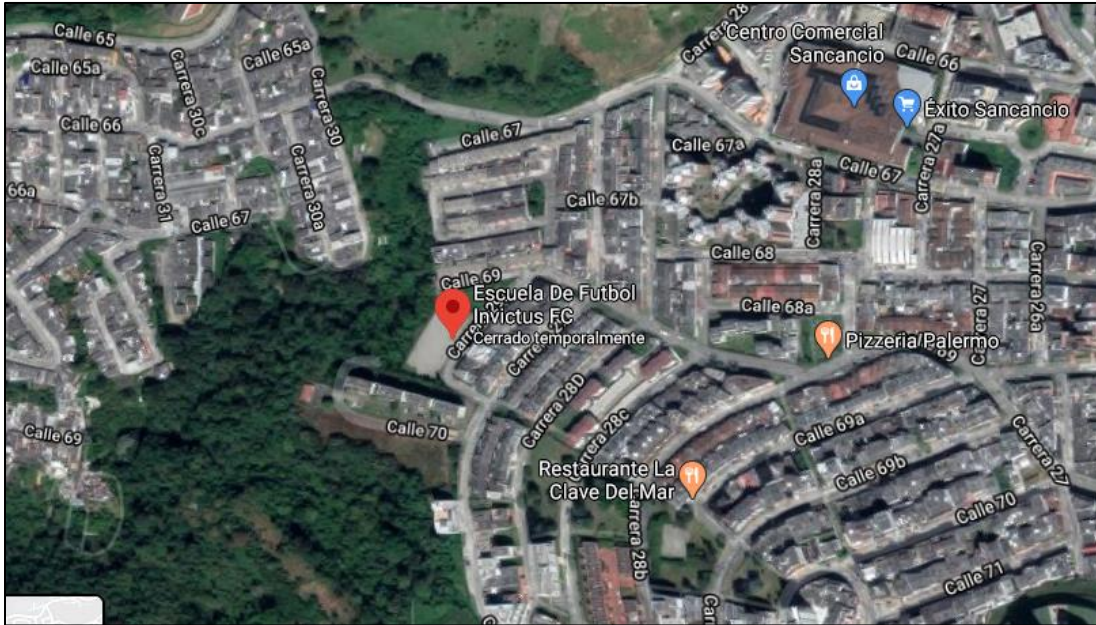


Figura 30. Vista Satelital Ubicación Estación Barrio Palermo - Cancha De Futbol (GoogleMaps)



Figura 31. Ubicación Estación Barrio Palermo - Cancha De Futbol (Fuente Propia)

3.2.11 Estación Los Cábulos

La estación los Cábulos se encuentra en funcionamiento actualmente y es de gran influencia en la red de cable actual, ya que es el punto de conexión entre el municipio de Manizales y Villamaria, otro aspecto relevante de esta estación es que se encuentra al lado del terminal de transporte de Manizales.

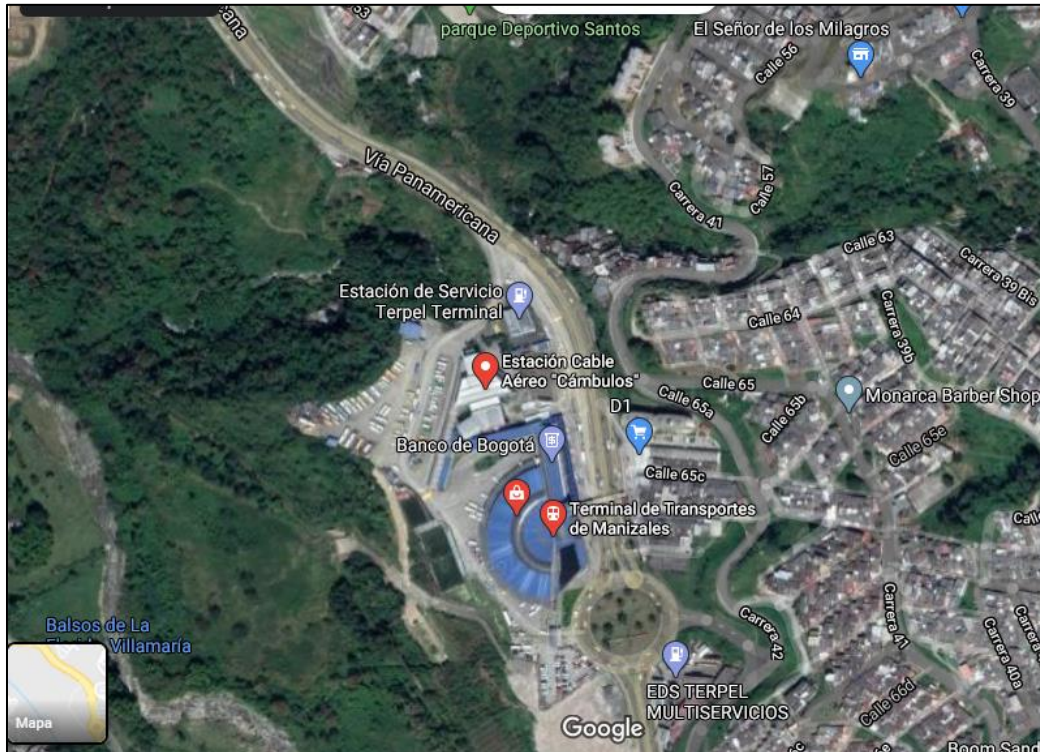


Figura 32. Vista Satelital Estación Los Cábulos (GoogleMaps)



Figura 33. Ubicación Estación Los Cábulos (Fuente Propia)

4. Marco Teórico

4.1 Movilidad Urbana Sostenible:

La movilidad urbana sostenible puede definirse en función de la existencia de un sistema y de unos patrones de transporte capaces de proporcionar los medios y oportunidades para cubrir las necesidades económicas, ambientales y sociales, eficiente y equitativamente, evitando los innecesarios impactos negativos y sus costes asociados (Lizárraga; 2006). Para lograr una movilidad urbana sostenible la Unión Internacional de Transporte Público - UITP considera que se deben tener en cuenta tres pilares, el primero, un uso del suelo que incorpore las necesidades de movilidad, el segundo la restricción del uso del vehículo privado y el tercero, la promoción de un sistema de transporte público eficaz (UITP, 2003).

En las últimas décadas se han producido grandes cambios sociales, económicos y tecnológicos que han derivado en un aumento de las distancias medias recorridas, debido a las variaciones en los motivos de desplazamientos y las modificaciones en la localización de las actividades productivas, generando los efectos más negativos en los países menos desarrollados (Miralles,2002). En búsqueda de lograr una movilidad urbana sostenible los países más desarrollados han definido como uno de sus objetivos en transporte incrementar el acceso a servicios y necesidades básicas primarias buscando disminuir cada vez más la diferencia de clases sociales (Jones,2011), logrando así un aumento en la calidad de vida de las personas mejorando la accesibilidad, termino en el que se hará énfasis más adelante.

La ciudad de Manizales cuenta con diversas iniciativas que mediante estudios buscan una mejora en la movilidad urbana, como son los grupos de investigación de la universidad Nacional de Colombia – sede Manizales, alianzas de sectores académicos, privados e independientes como Manizales Campus Universitario y Manizales Cómo Vamos, esta última alianza realiza un informe anual con indicadores, estadísticas y análisis, donde plantean una metodología para monitorear las condiciones de vida de los ciudadanos, donde uno de los temas evaluados es la movilidad.

El último informe realizado por la iniciativa de Manizales Cómo Vamos es llamado “Informe de calidad de vida Manizales 2019” donde tiene un capítulo de análisis para cada uno de los siguientes temas: pobreza y desigualdad, salud, educación, empleo, seguridad ciudadana, vivienda, servicios públicos y espacio público, medio ambiente, movilidad, cultura, recreación y deporte, gestión y finanzas públicos, entorno económico y competitividad. (Unidad coordinadora calidad de vida; 2019)

El capítulo de movilidad brinda información relevante en el comportamiento de los ciudadanos y el comportamiento de la ciudad en comparación con otras ciudades de Colombia. En Manizales cerca de la mitad de los ciudadanos se transportan en bus, buseta o colectivo, el costo del transporte es mayor en la ciudad de Manizales a otras ciudades cercanas, por cada 100 pesos que invierte un hogar manizaleño en transporte un hogar de Pereira invierte 67 pesos y en Armenia 80 pesos. Manizales en cuanto a participación en

modos sostenibles paso de ser la primera en Colombia a ubicarse en el puesto cuatro, atrás de ciudades como Bogotá, Medellín y Barranquilla, debido a las decisiones que estas ciudades han tomado para desincentivar el uso de transporte privado por medio de inversiones en infraestructura.

Del presupuesto destinado para el transporte, el 85% fue invertido en construcción y mejoramiento de vías, siendo en los últimos años más del 44% de los recursos propios de la ciudad en infraestructura y mantenimiento de vías. Manizales sigue apostando por una movilidad sostenible como lo indica el informe mencionado y el plan de maestro de movilidad, el cual contempla realizar intervenciones como el diseño de calles compartidas, ciclorrutas, con prioridad por la Avenida Santander, y la ampliación del sistema de bicicletas públicas de la ciudad. En el centro, la peatonalización de la carrera 23 y la calle 19, la implementación de zonas de tránsito de menos de 20 km/hr y de zonas de bajas emisiones. (Plan Maestro de Movilidad de Manizales; 2017)

El plan maestro de movilidad de Manizales cuenta con 6 pilares a diferencia de lo indicado anteriormente por la UITP el cual señala que para lograr una movilidad urbana sostenible se debe cumplir con 3, para Manizales los pilares son: Una ciudad conectada con la región y el país, una movilidad saludable y sostenible, un sistema de transporte público eficiente, accesible y asequible, un tránsito ordenado, fluido y seguro, un sistema de movilidad articulado con el entorno natural y construido, por último una ciudad moderna e inteligente. El plan de movilidad se encuentra articulado con el POT y cuenta con un plazo a partir de la disposición de las vigencias futuras por parte de la nación y los municipios de Manizales y Villamaria, está planeado para los años 2023, 2027 y 2032 donde se da prioridad alta, media y baja a los proyectos, los cuales estarán culminados en los años asignados para estos, siendo un total de 1,6 billones distribuidos en tres cortes de ejecución así:

Tabla 1. Proyección de los recursos necesarios para la implementación del plan

Pilar	2023 Miles de Millones	2027 miles de Millones	2031 miles de Millones
<u>Pilar 1</u>	\$ 29	\$ 10	\$ 16
<u>Pilar 2</u>	\$ 11	\$ 32	\$ 43
<u>Pilar 3</u>	\$ 165	\$ 15	\$ 158
<u>Pilar 4</u>	\$ 540	\$ 270	\$ 250
<u>Pilar 5</u>	\$ 22	\$ 25	\$ 42
<u>Pilar 6</u>	\$ 2	\$0.2	\$0.2
TOTAL	\$ 779	\$ 352	\$ 509

Fuente: Plan Maestro de Movilidad

El pilar 1 busca una integración operacional donde se propone crear un sistema de información actualizado en tiempo real para que los usuarios conozcan los horarios de transporte intermunicipal, el pilar 2 busca implementar una zona compartida o zona 20, la cual es una zona de tráfico calmado a 20 km/hr en el centro, con el fin dar prioridad a los

medios de transporte no motorizados (NACTO'S; 2013). El pilar 3 se enfoca en implementar un sistema estratégico de transporte público – SETP, este también es uno de los puntos clave del POT, el cual se espera impacte de manera positiva el transporte que existe actualmente y aumente la viabilidad del resto de proyectos, el pilar 4 se enfoca en dar lineamientos para el desarrollo de la infraestructura vial. El pilar 5 mediante bulevares reforzará la conectividad ecológica en los principales corredores viales de la ciudad para reforzar el valor paisajístico, garantizar el confort y seguridad de las personas, el pilar 6 implementará un sistema de información centralizada en temas de movilidad para ubicar información del tráfico, el transporte público, accidentes, estado de la vía entre otras opciones.

Cada uno de los pilares planteados en el plan maestro de movilidad es un conjunto de proyectos relacionados entre sí y entre los proyectos del POT, todos en busca de un objetivo común, donde los medios de transporte urbano juegan un papel indispensable como se puede evidenciar al ver la finalidad de cada uno de los pilares, en la siguiente sección se detallará sobre este tema fundamental en la movilidad urbana sostenible.

4.2 Medios de Transporte Urbano:

Los medios de transporte urbano pueden ser definidos de varias formas, siendo estos interdependientes entre sí, esta clasificación se hace a partir de los tipos de transporte urbano para pasajeros y se prescindirá del transporte de carga, ya que el presente estudio trata específicamente del transporte de pasajeros. En esta sección no se especifica a que clasificación pertenecen los servicios que no son usuales o no se presentan en la ciudad de Manizales como el metro, vehículos de tracción animal, autobús de tránsito rápido – BRT, entre otros.

La clasificación puede darse según el tipo de servicio que se presta o el volumen de viajes (Molineros. R.A. Sánchez. L.I: 2005), el servicio puede ser privado, alquilado o público y de acuerdo con su volumen puede ser individual o grupal. El transporte privado se presenta en vehículos operados por el dueño como son el automóvil, la bicicleta, la motocicleta y se incluye también al peatón. El transporte alquilado puede ser usado por cualquier persona que pague una tarifa en vehículos proporcionados por un operador que se ajusta a los deseos de movilidad del usuario, como son los taxis. El transporte público son los sistemas de transportación que operan con rutas fijas y horarios predeterminados y que pueden ser utilizados por cualquier persona a cambio del pago de una tarifa previamente establecida como los buses, los microbuses, las busetas y el cable aéreo.

Los servicios de volumen individual son los que se presentan cuando un vehículo sirve a una persona o un grupo organizado de usuarios que viajan a un mismo destino como el automóvil, la bicicleta, la motocicleta y el peatón. Los servicios de volumen grupal son aquellos que realizan traslados a personas que no tienen ninguna relación entre sí y tienen destinos diferentes como el taxi, los microbuses, los buses y las busetas. De acuerdo con lo anterior se concluye que los servicios privados son los mismos servicios individuales, las

modalidades de alquiler, público y por grupo son las que integran el transporte público urbano de la ciudad de Manizales como se puede ver en la tabla 2.

Los medios de transporte se pueden seguir clasificando de acuerdo con tres características principales, la primera el tipo de derecho de vía, esta hace referencia a la porción de vialidad o la superficie de rodamiento por donde circulan las unidades de transporte, siendo esta de cuatro tipos, transporte de superficie el cual opera con tránsito mixto es decir varios servicios a la vez, el transporte semiconfinado el cual cuenta con una separación física del tránsito longitudinal pero mantiene cruces a nivel con otros vehículos, el confinado que cuenta con una separación física longitudinal y vertical que evita interferencias entre diferentes medios de transporte y el transporte especializado el cual presenta condiciones especiales que no permite clasificarlo en los otros tipos.(Vucan R. Vuchic; 1981).

La segunda característica es la tecnología usada, que tiene en cuenta dos aspectos como son las especificaciones mecánicas de las unidades de transporte y de la vía en sí misma, se divide en 4 componentes. El primero es el soporte, se entiende como el contacto vertical entre la unidad de transporte y la superficie de circulación, el segundo es la guía por la cual se controla el vehículo en sus movimientos laterales, el tercero es la propulsión o método usado para transferir las fuerzas de aceleración y desaceleración, por último, el control por el cual se da movimiento pudiendo ser este manual o automático.

La tercera característica es el tipo de servicio que los clasifica por tipo de ruta, tipo de operación y horario, el tipo de ruta depende de la zona en la que se movilice el servicio puede ser ruta de frecuencia intensiva si se presta dentro en un área pequeña como un aeropuerto o sitio turístico, ruta urbana si es en una ciudad, ruta suburbana si es en un solo sector de la ciudad. Según el tipo de operación, este depende del número de paradas que realice, de menor a mayor cantidad de paradas se clasifican en expreso, alternadas y locales. El ultimo tipo de servicio por el cual se puede clasificar es el horario, depende del periodo de tiempo en que se presta el servicio, puede ser un horario regular, sólo en horas pico, o horarios especiales como servicios turísticos y rutas escolares.

A continuación, se presenta tabla resumen con la clasificación de los medios de transporte que existen en la ciudad de Manizales:

Tabla 2. Clasificación Medios de Transporte

Clasificación		Motocicleta	Automóvil	Bicicleta	Peatón	Taxi	Bus	Cable Aéreo
Tipos de Servicio	Privado	X	X	X	X			
	Alquilado					X		
	Público						X	X
Volumen	Individual	X	X	X				
	Grupal				X	X	X	X
Derecho de vía	Superficial	X	X	X	X	X	X	
	Semiconfinado							
	Confinado							X
	Especial							X
Tecnología	Soporte	Neumático sobre concreto o asfalto			Pies sobre concreto o asfalto	Neumático sobre concreto o asfalto		Cable - Cabina
	Guía				Libre			Especializado
	Propulsión	Motor de combustión		Humana		Motor de combustión		Eléctrico
	Control				Manual			Automático
Servicio	Ruta				Urbano			
	Operación				Expreso		Alternado	
	Horario				Especial		Regular	

Fuente: Propia

En el cuadro anterior podemos ver claramente la similitud y diferencias entre los medios de transporte de Manizales, las motocicletas y los automóviles en todas las clasificaciones presentan las mismas características, otro par de medios de transporte iguales son la bicicleta y el peatón, estos cuatro se diferencian únicamente en el tipo de propulsión, los taxis y los buses se diferencian en el tipo de operación y en que un servicio es de alquiler y el otro es público, el cable aéreo es el único medio de transporte manizaleño que presenta unas diferencias marcadas respecto a los otros medios.

Analizando punto por punto las diferencias del cable aéreo comparado con los otros sistemas, podemos observar unas claras ventajas frente a los otros, es un servicio público que mantiene unas tarifas fijas durante el año, el traslado de volúmenes es grupal y no individual, el derecho de vía es confinado ya que este al ser aéreo no genera congestión con otros medios de transporte como lo hacen todos los otros tipos que son superficiales, la tecnología con la que funciona es amigable con el medio ambiente como lo son andar a pie y en bicicleta, sólo que con el cable se recorren distancias mayores en menor tiempo, el control es automático lo que genera una frecuencia regular en el transporte a diferencia de los demás que se puede ver afectada por factores externos e internos. Por los anteriores motivos el sistema de cable aéreo es una de las alternativas propuestas en el POT para lograr una movilidad urbana sostenible, en la siguiente sección se profundizará más sobre este medio de transporte urbano.

4.3 Cable aéreo

Desde la antigüedad el hombre ha buscado como atravesar las dificultades topográficas, como barrancos y ríos, sin poner en riesgo su integridad y la de sus mercancías. Las primeras cuerdas tendidas de un punto a otro de estos obstáculos naturales con el fin de atravesarlos datan de países montañosos como China, India y Japón desde el 250 a.C. En la antigua China

para atravesar estos pasos difíciles se utilizaba una especie de arnés, por cuyo interior se pasaba la cuerda guía que unía las dos orillas y permitía deslizarse sobre ella; otro método consistía en utilizar un cesto dentro del cual se colocaba al viajero sentado. El cesto llevaba dos ojales a sus extremos unidos por una pieza de bambú por dentro de la cual se pasaba la cuerda guía que unía las dos orillas, de la que colgaba otras dos cuerdas atadas a cada extremo del cesto y unidas a cada una de las orillas, lo cual permitía trasladar el cesto cuando una o varias personas tiraban de ellas desde la orilla a la que querían llegar.

En 1411 se encuentra la primera representación gráfica en un libro de un cable aéreo, se trata de un dibujo de Johan Hartlieb, en el que una cesta se traslada a los bajos de un castillo por medio de una cuerda movida a mano con una polea (figura 34). En Sudamérica el cable aéreo que se denominada oroya, garrucha o tarabita y se usó para transportar oro, desde 1536 fue ampliamente utilizada por indios y españoles, a partir del siglo XVI para atravesar carga (Enrique y Pilar Orche; 2016).



Figura 34. Sistema de Johan Hartlieb (1411) (Hotdog,2009, modificada)

En 1644, un monarca holandés Adam Wybe puso en funcionamiento un servicio de monocable más conocido como maquina Dantzig (Figura 35) para llevar tierra con la cual construir un fuerte en el alto de un cerro Gdansk, Polonia, este consistía en un lazo de cuerda construida con semillas de cáñamo arrastrando unos cestos en los que se colocaba el material a transportar a la obra, un sistema similar fue descrito por Robert South-Well en 1692 y a mediados del siglo XVII por el cartógrafo francés Nicolas Sanson d'Abbeville. Entre 1650 y 1860 no hubo un apreciable progreso en la tecnología de los cables.

En el siglo XIX con la llegada de la industrialización, el transporte de materias primas y otras mercancías comenzó a ser un problema debido a las cantidades a acarrear aumentaban, pero no fue hasta 1856 que gracias al descubrimiento del cable de acero el inglés Henry Robinson registra la primera patente de teleféricos unicables a nivel mundial, el cual era un sistema diseñado para trasladar carbón y otros minerales, que consistía en un cable, soportado a intervalos por poleas colocadas sobre torres, que finalizaban en dos poleas terminales, una de ellas tractora. Poco después construye un prototipo en Hebden Gill (North Yorkshire), sus objetivos eran depurar el diseño y transferir carbón comercialmente desde las bocaminas a una planta de tratamiento, con este sistema nace el denominado sistema inglés de cable aéreo.

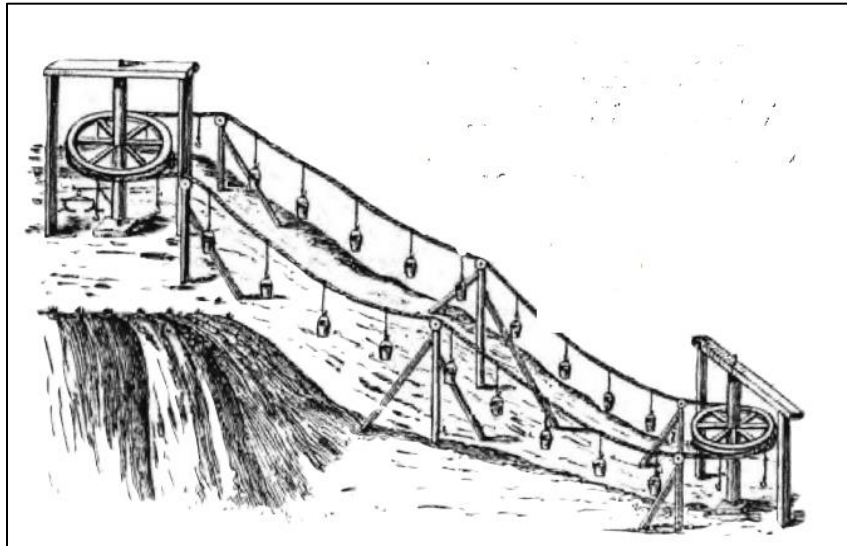


Figura 35. Esquema general del teleférico de Dantzig (Dieterich, 1908,26, modificada)

En 1868 se hizo otra patente importante la del Ingeniero Inglés Charles Hodgson, quien creó un sistema monocable, aunque copiaba el modelo de Robinson mejoró las mordazas y presentó un sistema que constituyó la base del modelo bicable, que consistía en uno o dos cables portantes y el correspondiente número de cables tractores, este sistema permitía líneas de 900m pero solo el transporte debía ser ascendente ya que en caso contrario necesitaría un motor, creó una compañía donde construyeron tres cables aéreos en Richmond (1869), en la cantera de granito de Bardon Hill y en Brighton (1872).

En 1861, el alemán Franz-Fritz Barón Von Ducker construye en Oeynhausen diversos teleféricos para el transporte de materiales, para la fabricación se utilizaron barras de acero de media pulgada, lo cual no lo clasifica como un teleférico si no en los monorrieles, esta instalación permitía unas pequeñas góndolas ascendiesen hasta Bischofsberg de Danzing. En paralelo con los trabajos de investigación que estaban llevando a cabo en Europa, en Estados Unidos un ingeniero de apellido Cypher construyó en 1868 el primer teleférico bicable americano en una mina de Colorado sobre pilas de madera con el fin de transportar material. En el año 1870, el suizo Christian König construyó en Schlierental (Suiza) un cable aéreo de 2.100 m de longitud y un 73% de pendiente, utilizando la fuerza de la gravedad para transportar madera. (Figura 36).

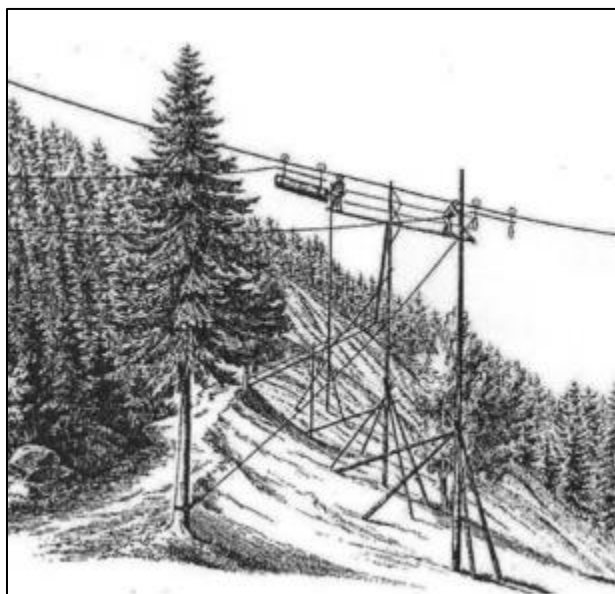


Figura 36. Sistema de Konig para sacar madera (Lindegger y Burgi, 2006, 329)

En 1872, influenciado por el sistema inglés y por los trabajos de Cypher, von Ducker instaló un teleférico bicable en circuito cerrado para la construcción de un fuerte en Metz (Francia), con una longitud de 1.923 m y superaba un desnivel de 41 m. Las vagonetas estaban fijadas al cable mediante una mordaza especial a tornillo patentada por el austriaco Theobald al que algunos consideran el auténtico inventor del sistema bicable de movimiento continuo en 1872.

Durante este tiempo los ingenieros alemanes Bleichert y Otto, partiendo de los trabajos de von Ducker y de Obach, introducen contrapesos de tensión y registran una patente de teleférico bicable que poseía un cable portador y un segundo cable tractor. En 1880 se fundan las primeras firmas de construcción de teleféricos: Bleichert, en Leipzig y Pohlig en Colonia (Miravete A. y Larrodé E; 2004).

Los teleféricos descritos anteriormente están destinados únicamente al transporte de mercancías. Sin embargo, en China, África y Argentina se comenzó a transportar a los obreros de este modo sobre las obras de embalses o en las minas. El primer teleférico destinado únicamente al transporte personas fue construido en 1866 en Schaffhausen por Ritter, el cual estuvo en servicio hasta 1899, tenía 4 cables portadores y transportaba a dos personas por canasta. Como consecuencia se instalaron más de estos teleféricos en algunos lugares del mundo como Nueva Zelanda, Knoxville, Tenesse, entre otros.

A continuación se presenta un resumen en la tabla 3, con la comparación del cable aéreo en Colombia, ya que anteriormente se detalló en la introducción. El cable aéreo de Manizales fue el segundo en abrir sus puertas al público en Colombia y en comparación con las otras cuatro líneas de cable aéreo del país, es la que cuenta con menos cabinas, el cuarto en longitud superando al cable aéreo de la ciudad de Cali, tiene igual número de estaciones que Cali, Bogotá y Pereira, siendo rebasadas por Medellín que cuenta con 11 estaciones. (ver tabla 3).

Tabla 3. Comparativo de cables aéreos en Colombia

CABLE AÉREO EN COLOMBIA				
CIUDAD	LONGITUD	ESTACIONES	CABINAS	AÑO DE APERTURA
Medellín	14,62 Km	11	498	2004
Manizales	2,82 Km	4	42	2009
Cali	2,08 Km	4	60	2015
Bogotá	3,34 Km	4	163	2018
Pereira	3,4 Km	4	60	En construcción

Fuente: Propia

De las ciudades comparadas con Manizales, ella es la única que no cuenta con un sistema integral de transporte, haciendo que este sistema no alcance a presentar su máximo desempeño.

4.4 Modelos

Los modelos son necesarios a la hora analizar escenarios actuales y predecir situaciones futuras, logrando tomar las mejores decisiones en cuanto a planeación de infraestructura, planes de movilidad, economía, entre otros aspectos. Los modelos son una representación de la realidad, enfocados en el aspecto que más le interesa al investigador, para así obtener resultados que sean una proyección ajustada a la realidad del problema en cuestión y con base en ellos ofrecer soluciones reales al problema que se esté evaluando (De Cea y Fernández, 2003).

Existen una gran variedad de modelos y programas que permiten representar la realidad, normalmente estos son divididos en dos tipos, modelos físicos y modelos abstractos (Ortuzar & Willumsen, 2011). Los físicos permiten la simulación de estados, el estudio de los fenómenos en tres dimensiones, con frecuencia se los utiliza en la solución de problemas prácticos de ingeniería para lo cual requiere la construcción de un modelo a escala reducida, un análisis de alternativas y la elección de la solución óptima en función al comportamiento deseado (Hidalgo, 2007). Los abstractos son teóricos y basados en fórmulas matemáticas, para el tema de estudio usamos este tipo de modelos ya que es el adecuado para las redes de transporte, aquellos modelos matemáticos utilizados para analizar el tráfico reciben el nombre de modelos de planificación del transporte (Loterio y Jaramillo, 2010).

Los modelos de planificación del transporte se sustentan en una cartografía inicial que soporta toda la información alfanumérica, en esta investigación se usó un sistema de información geográfica (SIG), en la cual se agregó la información geoespacial para obtener los parámetros de costes más ajustados a la realidad (Gómez, 2005). Para estos modelos tradicionalmente existen dos modos de evaluarlos y constituirlos, modelos de demanda y modelos de oferta, la demanda consiste en satisfacer o suplir las necesidades de transporte en

una población, a partir de sus requerimientos en viajes dentro de la ciudad, se establecen parámetros de desplazamiento y se constituye la infraestructura necesaria (Ostuzar & Willumnsen, 1994), el modelo de oferta mide la capacidad que existe en la infraestructura o medios para proveer el desplazamiento de los usuarios o mercancías; visto de otra forma, es la disponibilidad existente en infraestructura para soportar un desplazamiento (Añez et al;1996, Ortuzar & Willumnsen,1994).

Para la modelación del presente trabajo se usaron los softwares de Transcad y ArcGIS para el procesamiento de toda la información y el montaje de la red de infraestructura vial de la ciudad de Manizales, la red está compuesta por un grafo con más de 10.000 nodos y más de 13.000 arcos. Los nodos son espacios geográficos que se caracterizan por ser los principales atractores y generadores de viajes y los arcos son segmentos de vía (Escobar et al; 2013), con esta modelación geoestadística se evalúa el impacto en términos de accesibilidad y así elegir cual es la mejor alternativa de cable aéreo en la ciudad, para esto es preciso definir a continuación el concepto de accesibilidad y geoestadística.

4.5 Accesibilidad

La accesibilidad hace parte fundamental del paradigma de movilidad sostenible (Berolini, Le Clercq y Kapoen, 2005; Litman, 2007;Pardo 2005), (Escobar et al; 2013), para este concepto existe una compleja y diversa cantidad de definiciones (Jones,1981; Martellano, Nijkamp y Reggiani, 1995; Pirie,1979), todas ellas con variaciones dependiendo del punto de vista del tema que se está analizando, del campo que está realizando el estudio, del autor de la publicación y del año en que se haya realizado, este concepto desde un punto de vista más social y político se puede decir que hace referencia a la facilidad con que cada persona puede superar la distancia que separa dos lugares y de esta forma ejercer su derecho como ciudadano, además de una dimensión territorial, también es una característica individual con relación al número de opciones que tienen los diferentes ciudadanos para acceder a los lugares y a las actividades (Miralles-Guasch, C. & Cebollada, A; 2003).

El origen del término de accesibilidad data de la segunda década del siglo XX, cuando se abordó en áreas relacionadas con la teoría de la localización y el planteamiento económico regional (Batty,2009), otros campos que han realizado estudios con este concepto son el análisis social (López et al; 2008), análisis demográfico (Kotavaara, Antikainen y Rusanen 2011), parques públicos (Wang, Brown y Mateo Bibiano,2013), prestación y localización de servicios (Calcuttawala, 2006, Higgs, Langford y Fry, 2013;Park,2012), demografía y crecimiento urbano (Huiping-Li y Qiming-Zhou 2010), agricultura y recursos naturales (Arcidiacono y Porto 2010; Gellrich y Zimmermann, 2007), salud (Hernández-Avila, et al;2002), en Colombia ya se han realizado estudios a nivel regional (Escobar, Garcia y Tolosa, 2013b) y urbano (Escobar, D. y Garcia, F;2012) como el presente estudio.

Para el presente trabajo se realizó un análisis de accesibilidad por medio del cual se pudo explicar de forma matemática cuales son las posibilidades de interacción entre puntos o zonas geográficas de un territorio definiéndose esta como una medida de facilidad de comunicación entre actividades o asentamientos humanos, utilizando un determinado medio de transporte

(Escobar, D. y Garcia, F;2012) Lo anterior implica que dicha capacidad de acceder a un punto no se asocia a lo que el individuo logra hacer, sino que es un atributo cuyo estudio requirió ir más allá de los movimientos conocidos u observables (Hernández, D; 2012).

La medida de accesibilidad se ve afectada por la composición de la red de transporte, el número y localización de los nodos (Burkey et al;2012), existen diversas variables en las que se puede medir la accesibilidad como el tiempo y otra de las más relevantes como es la distancia (Loyola et al; 2009); ya que está en una función de la accesibilidad y depende la cercanía de cada uno de los nodos entre sí, aunque cada vez menos se depende de la distancia real y más de la distancia a las infraestructuras de transportes (Gutiérrez, J;1998).

Para la investigación actual el análisis realizado de accesibilidad respecto a los tiempos medios de viaje invertidos por las personas, se basa en la teoría de grafos (Petrus, Bey y Seguí, Pons; 1992), la cual aplica el estudio morfométrico de redes para conocer, con base en datos parciales que aspecto tiene la estructura completa de la red y con esto se realizó de manera completa una evaluación, comparación e impactos que tienen en la red los nuevos arcos y nodos destinados a los posibles escenarios de cable aéreo.

La accesibilidad puede ser dada en tres niveles: relativa integral o global (Izquierdo, R. et al; 1994). La accesibilidad relativa se relaciona con la calidad de conexión entre dos nodos situados en una misma área; la accesibilidad media integral, es usada para conocer el grado de interacción de un nodo en particular con los demás nodos de una misma área; la accesibilidad media global, es el promedio de las accesibilidades integrales de todos los nodos definidos en el área de estudio, en la actual investigación se realizaron análisis en accesibilidad media integral y accesibilidad media global.

4.6 Geoestadística

4.6.1 Algoritmo de Dijkstra

Resolver un análisis de ruta se puede interpretar como encontrar la ruta más rápida, más corta o la impedancia que se elija resolver entre dos nodos en un grafo, si es el tiempo entonces la mejor ruta es la más rápida, si es la distancia entonces es la más corta, también se puede determinar para una fecha específica, una hora, entre otros aspectos, se puede definir entonces que la mejor ruta es la que tiene la menor impedancia o el menor costo.

Existen diferentes algoritmos para resolver el análisis de la ruta más corta, en el presente trabajo se aplicó el algoritmo de Dijkstra, creado en el año 1965 por el físico Edsger W. Dijkstra, el cual determina el camino más corto entre dos puntos en un grafo al darle peso a cada uno de los arcos. El algoritmo para realizar el cálculo considera dos condiciones, la primera es que siempre debe existir como mínimo un camino o ruta entre los diferentes nodos que conforman la red, el segundo principio indica que, si entre la ruta O y D existe un nodo intermedio S, entonces la parte del camino que va de S a D debe ser el camino más corto de

los caminos van de S a D, esto aplica para todos los nodos intermedios que puedan existir entre O y D (Dijkstra, 1959).

El algoritmo planteado por Dijkstra ha sufrido diferentes variaciones buscando una optimización como la adaptabilidad a valores negativos en los arcos (Johnson, 1973), la acumulación de Fibonacci al reemplazar las colas binomiales por colas de Fibonacci mejorando el tiempo de calcula (Fredman & Tarjan), la mayoría de optimizaciones en busca de mejorar los tiempos de cálculo y el tamaño de los datos procesados, hasta poder llegar a realizar el algoritmo en redes de gran tamaño (MÖhring et al; 2007).

4.6.2 Gradiente de ahorro

En la presente investigación el cálculo del gradiente de ahorro es un punto muy importante, ya que permite realizar comparación entre el escenario actual de la red y los escenarios futuros planteados, así como la comparación de estos escenarios planteados entre sí, para este cálculo se usan los vectores de tiempo promedio de viaje (Ecuación 1), con este se obtienen los porcentajes de diferencia que permiten analizar si se presentó una mejora en los tiempos medios de viaje.

$$GA(\%) = \frac{EA - EF}{EA} * 100$$

Ecuación 1. Gradiente de Ahorro

GA= Gradiente de Ahorro

EA= Escenario Actual

EF= Escenario Futuro

Esta ecuación ha sido usada en gran cantidad de estudios debido a la importancia y facilidad de análisis que se puede obtener gracias a ella (Escobar,2017), (Zuluaga et al; 2018) (Perilla et al; 2018)

4.6.3 Tiempo promedio de viaje

Con la matriz de distancias y conociendo la velocidad de operación promedio de los arcos se calcula la matriz de tiempos promedios mínimos de viaje para luego calcular el vector de tiempo promedio de viaje (Tvi) mediante la ecuación 2:

$$\overline{T}_{vi} = \frac{\sum_{j=1}^m t_{vi}}{(n-1)} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n ; \quad j = 1, 2, 3, \dots, m$$

Ecuación 2. Tiempo promedio de viaje

En donde:

t_{vi} = Tiempo de viaje mínimo promedio entre el nodo i y los demás nodos.

n = Número de nodos de la red.

$m = n - 1$

A continuación, se propone una metodología de análisis en respuesta a las diferentes problemáticas que se desenvuelven en el territorio, como el aumento del volumen vehicular, crecimiento poblacional y la difícil topografía del territorio, por tal motivo se evalúan 6 alternativas posibles de cable aéreo para determinar la más adecuada y así generar un notorio mejoramiento de la movilidad en la red de la ciudad, logrando un impacto positivo en la calidad de vida de las personas (López, E. et al ; 2008),

5. Metodología

El proceso de investigación se desarrolla en 5 etapas:

5.1 Obtención de la información necesaria.

5.2 Montaje de la red de transporte de Manizales en un sistema de información geográfico (SIG).

5.3 Cálculo de la accesibilidad media integral ofrecida por la red en los 6 escenarios posibles.

5.4 Cálculo de la accesibilidad media global ofrecida por la red actual y en los 6 escenarios posibles.

5.5 Cálculo del gradiente y los porcentajes de cobertura.

5.1. Obtención de la información necesaria

Preliminarmente se obtuvo la red vial de la ciudad de Manizales usada por la Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales (García, F.J. y Escobar, D.A; 2010). junto con las 6 escenarios planteados anteriormente de una futura red de cable aéreo que conecta importantes sectores de la ciudad e integra la red al transporte público (Escobar, D. and García, F; 2012), teniendo esta información como punto de partida, se empezó la recolección de datos y actualización de la red vial, anexando nuevos arcos que no existían, cambios de dirección en diferentes vías y se incorporaron arcos correspondientes a escaleras, puentes y otros que eran de uso exclusivo para peatones y no podían circular rutas de transporte público, dando como resultado la red mostrada a continuación:

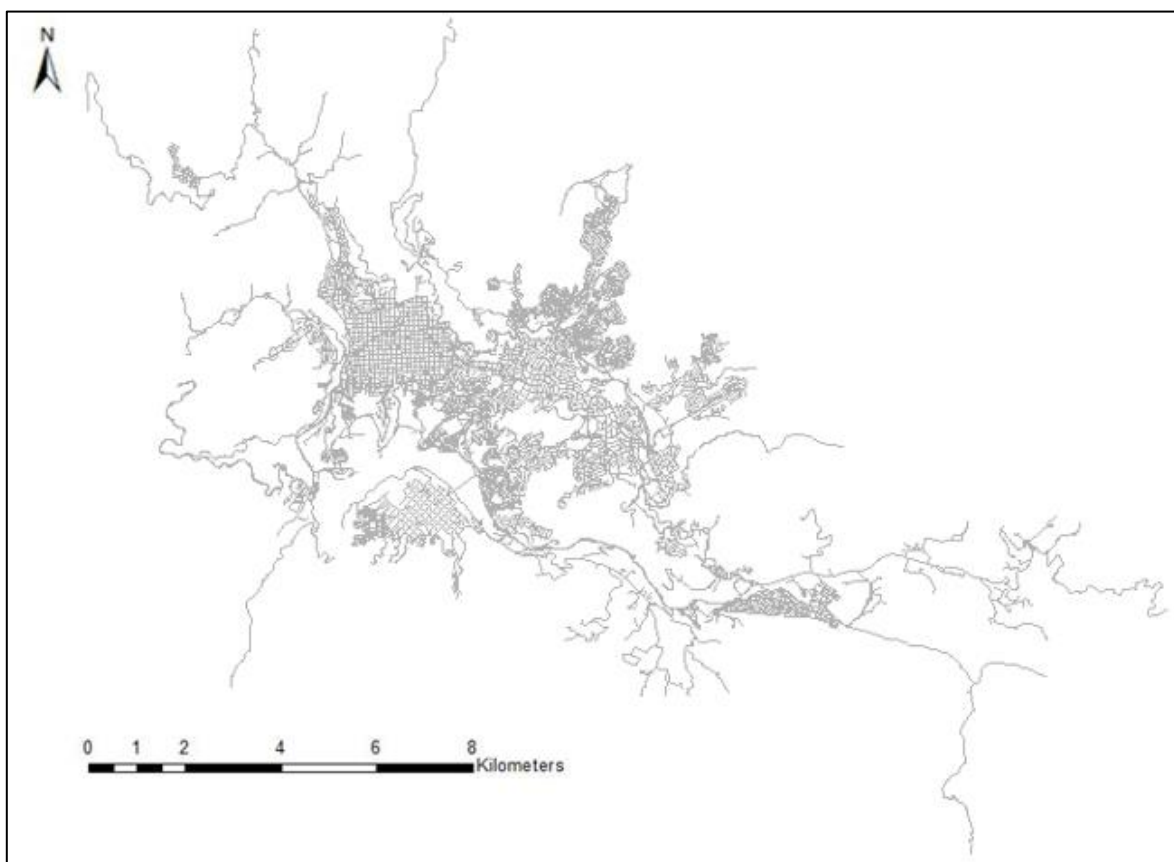


Figura 37. Red Vial de Manizales (Fuente Propia)

Posteriormente se actualizó la red de transporte público urbano existente en la ciudad, para esto se usó como base el archivo georreferenciado de la alcaldía de Manizales que se encuentra en el servidor online de ArcGIS, con la información de las rutas de microbuses, buses y busetas (INVIAS; 2011) correspondientes a las empresas de Autolegal, Gran Caldas, Metropolitana, Serviturismo, Sideral, Socobuses y Unitrans.

El archivo base de la alcaldía de Manizales fue realizado en el año 2015 por lo tanto la información no estaba actualizada, ya que existían rutas nuevas y cambios en las ya existentes, por ese motivo se solicitó a la secretaria de tránsito y transporte de Manizales las resoluciones vigentes (Tabla 4) que permitían la circulación de estos servicios de transporte con sus rutas.

Después de actualizar la red se hizo una exhaustiva revisión de estos datos con el equipo de trabajo de la universidad nacional de Colombia, sede Manizales, comprobando que algunos no correspondían con la realidad planteada en las resoluciones, la empresa Socobuses es la única de las siete empresas que cuenta con sus rutas georreferenciadas actualizadas en la página web de Socobuses, por tal motivo se hizo una revisión en campo de la mayoría rutas con sistemas de posicionamiento global para definir correctamente los arcos por los que transitaban las rutas en funcionamiento, la red también cuenta con las líneas de cable que funcionan actualmente, en los análisis de escenarios futuros, estas líneas también se tuvieron en cuenta.

Tabla 4 Rutas del transporte público urbano de Manizales

RUTA	NOMBRE	CÓDIGO	RESOLUCIÓN	Empresa
101	GALERIAS-GALAN-CIRCULAR	4	Res_017_89_Ruta_16	Autolegal
102	ESTAMBUL - ARANJUEZ - CIRCULAR	3	Res_017_89_Ruta_24	Autolegal
103	ESTAMBUL- GLORIETA ESTADIO-CIRCULAR	17	Res_015_033_1994	Autolegal
104	ESTACIÓN DE SERVICIO LA ENEA (MALTERIA)-HOSPITAL GERIATRICO-CIRCULAR	1	Res_024_1996	Autolegal
105	SAN SEBASTIAN-BARRIO FATIMA-MALTERIA-CIRCULAR	40	Res_012_2010_Mod_Res_098_2013	Autolegal
106	PARQUE DEL AGUA OLAYA HERRERA-ALTO BONITO-CIRCULAR	73	Res_038_2012	Autolegal
107	CAROLA - ESTADIO - VERSALLES - CIRCULAR	74	Res_091_2015	Autolegal
201	VERACRUZ-BENGALA	65	Res_017_1989_Ruta_13	Unitrans
202	LA AURORA-LA CUMBRE	50	Res_017_1989_Ruta_14	Unitrans
203	NEVADO-VERACRUZ	32	Res_017_1989_Ruta_15	Unitrans

204	BAJO TABLAZO-FATIMA	46	Res_017_1989_Ruta_17	Unitrans
205	VERACRUZ-SINAI	49	Res_017_1989_Ruta_20	Unitrans
206	VERACRUZ-AV. SANTANDER- LA CUMBRE	16	Res_017_1989_Ruta_21	Unitrans
207	VERACRUZ-LEONORA-LA CUMBRE	55	Res_017_1989_Ruta_37	Unitrans
208	VERACRUZ-ALTOS DE GRANADA	75	Res_016_1995	Unitrans
209	VERACRUZ-PALERMO	66	Res_036_1996	Unitrans
210	CUMBRE-TERMINAL- GLORIETA PARAISO-CIRCULAR	14	Res_050_2009_U	Unitrans
211	LA VIOLETA-FATIMA	76	Res_060_2009_U	Unitrans
212	VERACRUZ-ALTO SAN CAYETANO	77	UGT_2405_13	Unitrans
214	BARRIO LA CUMBRE - AVENIDA SANTANDER-ALTO TABLAZO-CIRCULAR	48	SIN TRAZADO EN SHAPE 2015	Unitrans
301	FLORESTA-CABLE-CIRCULAR	39	Res_013_1985	Expreso Sideral S. A
302	FLORESTA-PARQUE VILLAMARIA-GLORIETA VERLON-CIRCULAR	11	Res_017_1989_Ruta_25	Expreso Sideral S. A
303	PALERMO-GLORIETA VERLON- CIRCULAR	28	Res_017_1989_Ruta_26	Expreso Sideral S. A
304	SENA-ENEA-GLORIETA VERLON-CIRCULAR	44	Res_017_1989_Ruta_28_Florid	Expreso Sideral S. A
304v	SENA-ENEA- (VARIANTE FLORIDA)-GLORIETA VERLON- CIRCULAR	62	Res_017_1989_Ruta_20	Expreso Sideral S. A
305	FLORESTA-ALTOS DEL PORTON-URAPANES- GLORIETA VERLON-CIRCULAR	78	Res_085_1995_Ruta_1_R2	Expreso Sideral S. A

306	SAN SEBASTIAN-CENTRO-CIRCULAR	36	Res_121_2010	Expreso Sideral S. A
307	FLORESTA-GALLINAZO-CIRCULAR	57	Res_1010_2004	Expreso Sideral S. A
308	SAMARIA - SOLFERINO - VILLAHERMOSA - CENTRO - CIRCULAR	21	Res_049_2005	Expreso Sideral S. A
309	FLORESTA-SAN SEBASTIAN-CIRCULAR	38	Res_051_2009	Expreso Sideral S. A
310	PARQUE DEL AGUA OLAYA HERRERA-ALTO BONITO-CIRCULAR	79	Res_038_2012	Expreso Sideral S. A
311	ENEA-LUSITANIA-GLORIETA VERLON-CIRCULAR	80	Res_234_2013	Expreso Sideral S. A
401	UNIVERSIDAD DE MANIZALES-TERMALES EL OTOÑO-CIRCULAR	10	Res_064_2005	Metropolitana
501	LIBORIO-GLORIETA VERLON-VILLAMARIA	13	Res_017_1989_Ruta_32	Servituirismo
502	LIBORIO-GLORIETA VERLON-ENEA	9	Res_017_1989_Ruta_33	Servituirismo
601	MORROGACHO-LA SULTANA-CIRCULAR	25	Res_017_1989_Ruta_1	Socobuses
602	VILLAPILAR - KENNEDY	8	Res_017_1989_Ruta_2	Socobuses
603	VILLAPILAR - ARANJUEZ	7	Res_017_1989_Ruta_3	Socobuses
604	VILLAPILAR - MINITAS - VILLALUZ	29	Res_017_1989_Ruta_4	Socobuses
605	VILLAPILAR - COMUNEROS - CIRCULAR	22	Res_017_1989_Ruta_5_5Prolong_	Socobuses
606	VILLAPILAR - ENEA - SENA	30	Res_017_1989_Ruta_7	Socobuses
607	VILLAPILAR-ENEA(BOSQUES)-SENA	56	Res_017_1989_Ruta_12	Socobuses

608	VILLAPILAR - COLINAS - TERMINAL DE TRANSPORTE	63	Res_017_1989_Ruta_8	Socobuses
609	VILLAPILAR - MALHABAR	45	Res_017_1989_Ruta_8_Malhabar	Socobuses
610	VILLAPILAR - PALERMO - MALHABAR	71	Res_017_1989_Ruta_8A	Socobuses
611	VILLAPILAR - PALERMO	54	Res_017_1989_Ruta_9	Socobuses
612	LINDA - PALERMO	19	Res_017_1989_Ruta_9A	Socobuses
613	VILLA PILAR-SULTANA	24	Res_017_1989_Ruta_10	Socobuses
613v	VILLA PILAR- SULTANA/VARIANTE LA FINCA	52	Res_017_1989_Ruta_10	Socobuses
614	VILLAPILAR - MALTERIA/ VARIANTE A JUANCHITO Y MINAS	20	Res_017_1989_Ruta_11	Socobuses
614v	VILLAPILAR - MALTERIA/ VARIANTE LA ENEA	67	Res_017_1989_Ruta_11	Socobuses
615	VILLAPILAR- BENGALA/VARIANTE A ALTOS DE CAPRI	35	Res_017_1989_Ruta_13	Socobuses
616	VILLAPILAR-SANTOS-COLINAS	47	Res_017_1989_R_23_Res_054_2	Socobuses
617	LIBORIO-PRADERA	12	Res_017_1989_Ruta_29	Socobuses
618	LIBORIO-BANCA DEL FERROCARRIL	2	Res_017_1989_Ruta_30	Socobuses
619	MORROGACHO-COLINAS	18	Res_017_1989_Ruta_35	Socobuses
620	VILLAPILAR - GUAMAL	31	Memorando_02_03_1990	Socobuses
621	LA LINDA-AV. KEVIN- SULTANA	51	Res_054_1995_Ruta_1	Socobuses
622	LA LINDA-AV. SANTANDER-LA SULTANA	53	Res_043_1996	Socobuses
623	LIBORIO-SAN PEREGRINO	70	Res_048_2012	Socobuses
624	VILLAPILAR-PALONEGRO	69	UGT-2410-13	Socobuses

625	PUERTA DEL SOL-ESTADIO-CIRCULAR	72	Res_566_2014	Socobuses
626	VILLAPILAR-PUERTA DEL SOL-CIRCULAR	34	Res_566_2014	Socobuses
626v	VILLAPILAR-PUERTA DEL SOL-CIRCULAR/VARIANTE MATEGUADUA	68	Res_566_2014_Variante_Mateg	Socobuses
701	GALERIA - SAN SEBASTIAN	5	Res_017_1989_Ruta_1	Gran Caldas
702	SAN SEBASTIAN-GLORIETA ESTADIO-CIRCULAR	58	Res_017_1989_Ruta_2	Gran Caldas
703	FLORESTA - CUCHILLA DEL SALADO	59	Res_017_1989_Ruta_3	Gran Caldas
704	ALCAZARES - LUSITANIA	23	Res_017_1989_Ruta_4	Gran Caldas
705	FLORESTA - GALLINAZO	37	Res_017_1989_Ruta_5_5Prolong_	Gran Caldas
706	TURIN - ALTA SUIZA - CIRCULAR	41	Res_017_1989_Ruta_7	Gran Caldas

Fuente: Alcaldía de Manizales

De acuerdo con la tabla anterior podemos hacer una distribución sobre el número de rutas con las que cuenta cada empresa, la mayor cantidad la tiene Socobuses con veintinueve rutas, más del doble que Unitrans, la cual es la segunda en cantidad con trece rutas, le sigue Expreso Sideral con doce, la empresa Gran Caldas con seis, Serviturismo con dos y por último metropolitana con uno, a continuación se ve gráficamente:

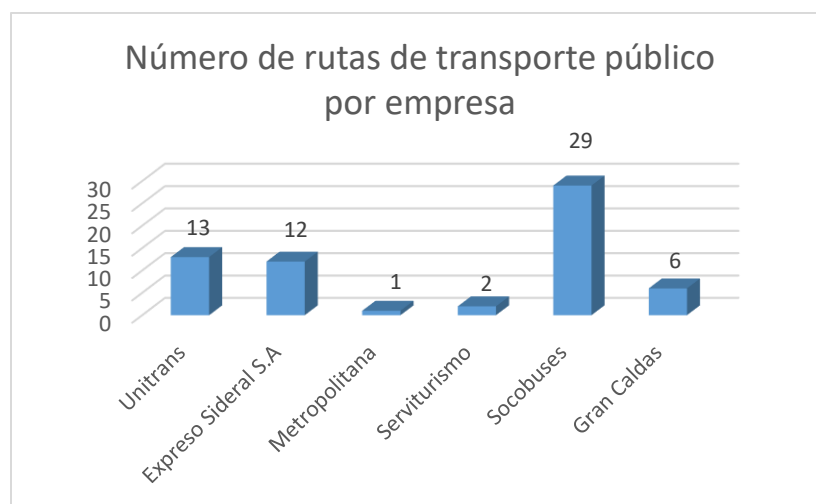


Figura 38. Número de rutas de transporte público (Fuente Propia)

5.2. Montaje de la red de transporte de Manizales en un sistema de información geográfico (SIG).

La red georreferenciada de Manizales utilizada en este estudio, base fundamental para los análisis realizados está compuesta después de su actualización, por un grafo con más de 10.000 nodos y más de 13.000 arcos. El sistema de coordenadas de la red es MAGNA y el sistema de coordenadas al cual se proyectó es CartManizalesMAGNA, después de proyectarse se hizo una revisión en busca de irregularidades como traslapes y errores de conexión que se corrigieron, esto se hizo para el escenario actual y para los seis posibles escenarios futuros.

Mediante el uso de ArcGIS se hizo el montaje de los elementos correspondientes a cada una de las 6 alternativas (Higgs, G., Langford, M. y Fry, R; 2013), (Kotavaara, O. et al; 2011) y se verificaron atributos correspondientes a dirección, longitud, velocidad y tiempo de viaje. Los arcos se dividieron en tres grupos diferentes, el primero conformado por los arcos en los cuales transitan las rutas de transporte público, el segundo por las rutas de cable aéreo (Actuales y futuras) y el tercero por la red peatonal; este último conformado por los arcos de uso exclusivo para peatones como son escaleras, puentes peatonales y pasos por donde no puede circular un vehículo, en este grupo también se incluyeron los arcos donde circula el transporte privado y todos los arcos que no corresponden a los dos primeros grupos, esto se debe a que el estudio se enfoca en la accesibilidad que se tiene al transporte público y no al privado en la ciudad de Manizales, en la siguiente grafica se puede ver claramente los arcos de la red por donde se presta el servicio de transporte público.

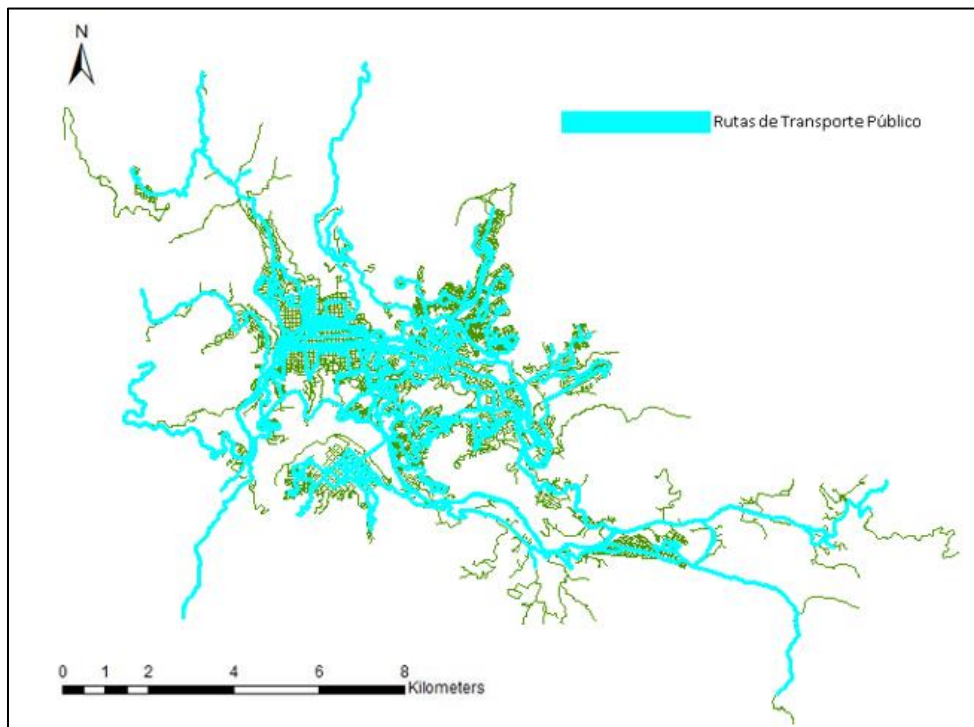


Figura 39. Red con rutas de transporte público (Fuente Propia)

La dirección otorgada a los arcos depende del grupo al que pertenece, para el primer grupo se le otorgaron las direcciones que le corresponden a cada ruta actualizada debido a que ya tiene en cuenta los movimientos reales de cada una de las rutas del transporte público, para el grupo dos al cual pertenecen los arcos del cable aéreo se conservó su movimiento bidireccional, por último, el tercer grupo correspondiente a los arcos de la red por donde se realizaran los trayectos a pie se le otorgo movimientos en ambas direcciones ya que los peatones no tienen restricción direccional en sus desplazamientos (Escobar, D. A., & Garcia, F. J; 2012) otro aspecto relacionado con la dirección son las penalidades que se deben otorgar a la red cuando se gira a la izquierda, a la derecha y los movimientos en u pero en este caso no se aplicaran para los efectos del análisis realizado, tomando como base estudios anteriores donde concluyen que estas se pueden omitir debido a que la red mantendrá la accesibilidad con o sin penalidades (Yiannakoulis, N. et al; 2013).

Un atributo fundamental como la velocidad en este tipo de estudios también se ha clasificado según el grupo al cual pertenezca el arco, generándose así en la red tres diferentes velocidades de operación. Para el primer grupo se optó por una única velocidad obtenida de estudios anteriores en la ciudad de Manizales la cual es de 17.5 km/h para arcos del transporte público urbano colectivo (Muñoz, J. C., Batarce, M., & Torres, Y; 2016), el segundo grupo correspondiente a los arcos de cable aéreo, se asignó una velocidad de 13.68 km/h que será usada para el escenario actual y los seis escenarios futuros, la cual es suministrada por la entidad encargada de manejar este sistema (Cable aéreo Manizales, 2018) y la última velocidad usada es de 4.32 km/h perteneciente a los arcos empleados por los peatones para sus desplazamientos, dada por investigaciones anteriores en la cuales se tuvo en cuenta las pendientes de los diferentes arcos y otras condiciones particulares de la ciudad (Escobar et al; 2018).

Tabla 5. Caracterización de la red

ONEWAY	RED_PEATON	Numero_Rut	ID_Rutas	Vel_Final	Dir_Final
B	1	0		4.32	0
B	1	0		4.32	0
B	1	0		4.32	0
FT	0	1	19	17.5	1
B	0	0		4.32	0
B	0	0		4.32	0
B	0	0		4.32	0
TF	0	2	19_28	17.5	-1
B	0	0		4.32	0
B	0	2	46_76	17.5	0
TF	0	2	19_28	17.5	-1

Fuente: Propia

En la tabla anterior se puede ver la forma en que se ingresa la información al software, entre la columna ONEWAY y Dir_Final hay un valor equivalente ya que ambas indican la dirección del flujo vehicular en el arco, B y 0 corresponden a movimiento bidireccional, FT corresponde a 1 y TF equivale a -1 en la columna Dir_Final. En la columna RED_PEATON el valor de 1 indica que es un arco de uso exclusivo para peatones y el 0 que no tiene esa exclusividad y podría ser usado por un vehículo privado o uno público. La columna

Numero_Rut tiene el número correspondiente de rutas de transporte público que pasan por el arco, la columna ID_Rutas indica cual es la identidad de las rutas que pasan por el arco y la columna Vel_Final es la velocidad que le corresponde a cada arco según el grupo al que pertenece.

5.3. Cálculo de la accesibilidad media integral ofrecida por la red en los 6 escenarios posibles

Para este nivel de accesibilidad se evaluó el grado de interacción de las posibles estaciones de servicio que forman parte del sistema de cable aéreo en cada uno de los seis escenarios futuros con los demás nodos correspondientes a Manizales y el municipio de Villamaria. Se prescindió de evaluar el nivel de accesibilidad integral en el escenario actual ya que la comparación buscada es entre escenarios futuros y definir cuál de ellos es la mejor opción.

Para empezar el cálculo se revisaron las diferentes propiedades de los arcos como se dijo anteriormente, también se inspeccionaron las longitudes con el programa ArcGIS y se calcularon los tiempos de viaje para cada arco con las velocidades y las longitudes correspondientes, la accesibilidad para cada uno de los escenarios se calcula a partir del vector de tiempo medio de viaje (T_{vi}) el cual representa el tiempo promedio de viaje entre un nodo específico (i) y el resto de nodos que conforman la red estudiada.

Para lograr todos los cálculos se usó el algoritmo Dijkstra del SIG que permite calcular la menor distancia entre un grupo de nodos específico, en este caso las estaciones de cable aéreo y los demás nodos de la red (Zhu-Xuang.; Liu-Susia;2004) conformando una matriz de distancias. Con la matriz de distancias y conociendo la velocidad de operación promedio de los arcos (García, F.J. y Escobar, D.A.;2010) se calcula la matriz de tiempos promedios mínimos de viaje para luego calcular el vector de tiempo promedio de viaje (T_{vi}) mediante la ecuación 3:

$$\overline{T}_{vi} = \frac{\sum_{j=1}^m t_{vi}}{(n-1)} \quad i = 1,2,3,\dots,n ; \quad j = 1,2,3,\dots,m$$

Ecuación 3. Tiempo promedio de viaje

En donde:

T_{vi} = Tiempo de viaje mínimo promedio entre el nodo i y los demás nodos.

n = Número de nodos de la red.

$m = n - 1$

Después de obtener vector de tiempo promedio de viaje ($n \times 1$) se ejecuta la relación con las coordenadas geográficas (Longitud y Latitud) de cada uno de los nodos y así generar una matriz de orden ($n \times 3$), para posteriormente elaborar las curvas isócronas de tiempo promedio de viaje para el área de estudio, mediante la aplicación de un modelo geoestadístico que permita realizar el análisis de accesibilidad media integral.

El modelo geoestadístico Kriging Ordinario fue el usado para obtener la predicción de los tiempos medios de viaje, este modelo permite relaciones estadísticas entre los puntos medidos, es decir, la auto-relación por este motivo este método también proporciona medidas de certeza o precisión de las predicciones (Burrough, P.A; 1986) (Heine, G.W; 1986) (McBratney, A.B., and R. Webster; 1986). La fórmula general para esta interpolación es una suma ponderada como lo muestra fórmula 4:

$$\hat{Z}(S_o) = \sum_{i=0}^N \lambda_i Z(S_i) \lambda$$

Ecuación 4. Interpolación suma ponderada

Donde:

$\hat{Z}(S_o)$ = El valor de la i-esima ubicación.

λ_i = Un peso desconocido para el valor de la i-esima ubicación.

S_o = La ubicación de la predicción.

N = El número de valores medidos.

Como se puede ver en la formula, este modelo no solo tiene en cuenta la distancia a la ubicación de predicción como los otros modelos, sino que también se basan en los pesos entre los puntos medidos y la ubicación de la predicción (Oliver, M. A; 1990), (Press, W. H et al; 1988), (Royle, A. G et al; 1981).

5.4. Cálculo de la accesibilidad media global ofrecida por la red actual y en los 6 escenarios posibles

Para el cálculo de la accesibilidad media global se tienen los mismos fundamentos de la accesibilidad media integral para los tiempos medios de viaje y se usa el mismo algoritmo de Dijkstra para los caminos mínimos, pero en este caso no se estudian unos nodos particulares sino todos los nodos definidos en el área de estudio determinándose la matriz de tiempos de viaje $n \times n$, es decir que el procedimiento para este cálculo es muy similar al de accesibilidad media integral descrito anteriormente, pero debido a que la matriz con los datos de tiempo de viaje obtenidos en este caso presenta una dimensión considerablemente mayor

con respecto a la matriz obtenida, por tal motivo se realizó en el programa de modelación TransCad.

Para empezar el cálculo en TransCad se importaron los datos actualizados de la red de Manizales actual y con las modificaciones necesarias para modelar cada uno de los seis escenarios posibles, usando el algoritmo de Dijkstra y se obtuvieron los recorridos con los menores tiempos de viaje para la conexión entre los diferentes nodos. Después de obtener la matriz con los tiempos de viaje se realizó el análisis explicado anteriormente en el capítulo de accesibilidad media integral, sólo que adicionalmente se evaluó el escenario actual.

5.5. Cálculo del gradiente y los porcentajes de cobertura

Después de obtener los resultados de las curvas isócronas, se dividieron en intervalos de tiempo para definir el porcentaje de cobertura para cada intervalo, esto se realizó para el escenario actual y cada uno de los seis escenarios posibles obtenidos mediante la accesibilidad global, con esta relación se calculó la diferencia de cobertura en los diferentes intervalos de tiempos de viaje para cada alternativa respecto al escenario actual y se obtuvo el porcentaje de mejora en los tiempos de viaje, a lo cual llamamos gradiente, definido anteriormente en la ecuación:

$$GA(\%) = \frac{EA - EF}{EA} * 100$$

Ecuación 1. Gradiente de Ahorro

Conociendo el porcentaje de cobertura para cada intervalo de tiempo de viaje del escenario actual y los seis escenarios futuros de accesibilidad global e integral, se realizaron diversos gráficos que permitieron efectuar una fácil y correcta comparación de todas las alternativas para identificar la propuesta más favorable de cable aéreo para la red de la ciudad de Manizales, los cuales se encuentran en la siguiente sección.

6. Resultados

6.1 Accesibilidad Media Integral

6.1.1 Alternativa 1

El primer planteamiento de accesibilidad media integral presenta el siguiente recorrido:

La Enea - Bosque Popular - Barrio Pío XII – Parque La Gotera - Exteriores de la facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional.

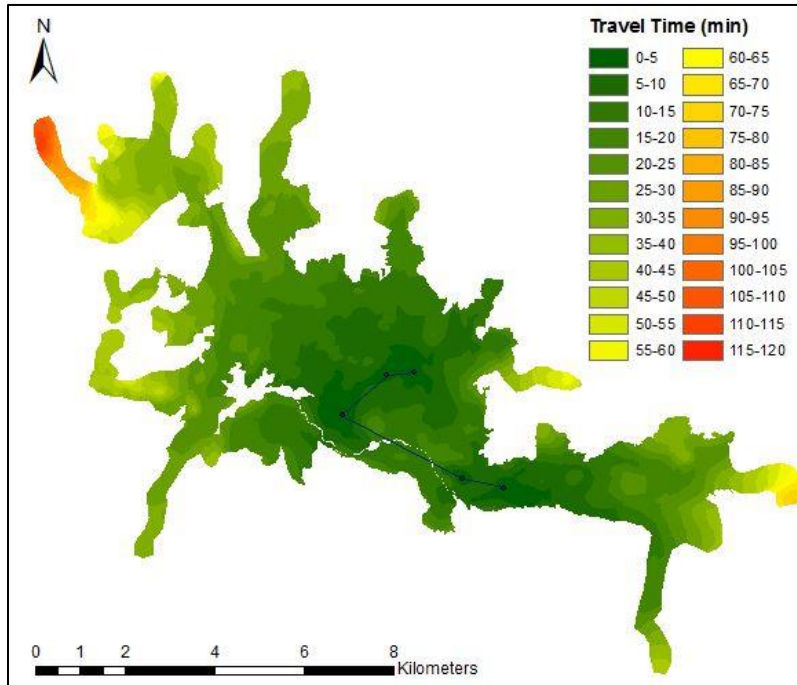


Figura 40. Curvas isócronas de accesibilidad media integral para el escenario 1 (Fuente Propia)

En el primer escenario analizado se presentan los máximos tiempos de viaje en el extremo occidental de la ciudad, seguido por los obtenidos al extremo oriente de la ciudad y los menores tiempos de viaje se ubican en la comuna tesorito en el sector de La Enea y en el sector de la comuna universitaria y la comuna Palogrande, donde se encuentran la mayoría de las estaciones del escenario, a continuación, el gráfico de dispersión correspondiente.

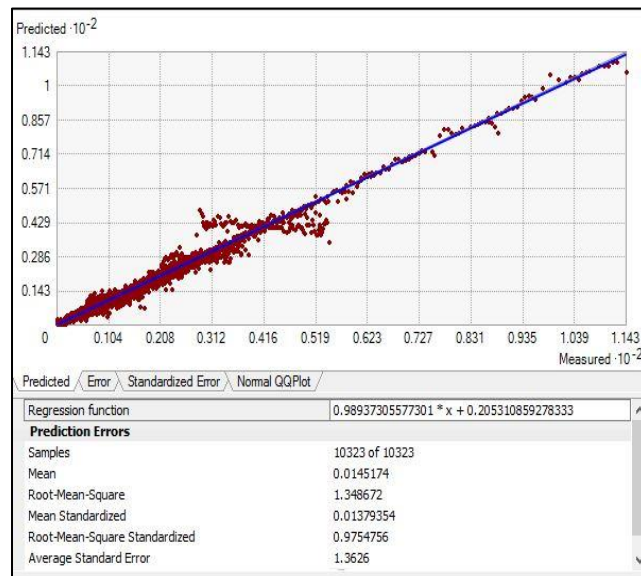


Figura 41. Gráfico de dispersión accesibilidad integral escenario 1 (Fuente Propia)

6.1.2 Alternativa 2

El segundo planteamiento de accesibilidad media integral presenta el siguiente recorrido:

La Enea - Bosque Popular - Barrio Sancancio, conjunto Loma Verde - Exteriores de la facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional.

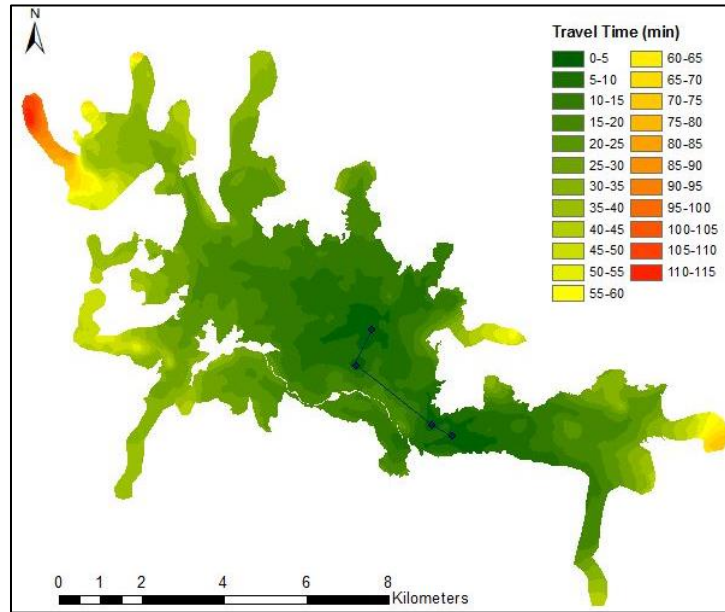


Figura 42. Curvas isócronas de accesibilidad media integral para el escenario 2 (Fuente Propia)

En el segundo escenario analizado se presentan los máximos tiempos de viaje en el extremo occidente de la ciudad, seguido por los obtenidos al extremo oriente de la ciudad y los mejores tiempos de viaje se ubican en la comuna tesorito en el sector de La Enea y en el centro en el sector del cable, se debe a las nuevas estaciones propuestas en el escenario 2, a continuación, el gráfico de dispersión correspondiente.

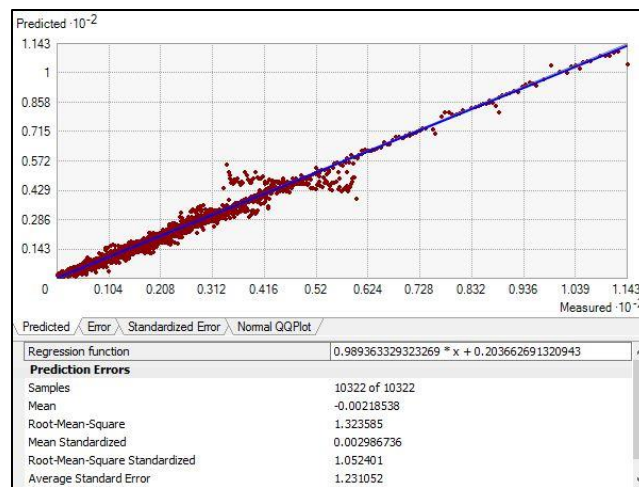


Figura 43. Gráfico de dispersión accesibilidad integral escenario 2 (Fuente Propia)

6.1.3 Alternativa 3

El tercer planteamiento de accesibilidad media integral presenta el siguiente recorrido:

La Enea - Bosque Popular - Barrio Palermo, cancha de fútbol – Estación del Cable hacia Los Yarumos.

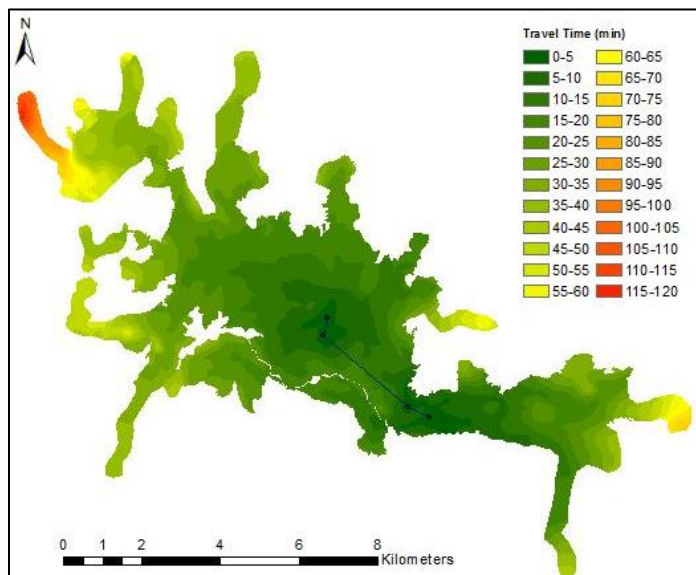


Figura 44. Curvas isócronas de accesibilidad media integral para el escenario 3 (Fuente Propia)

En el tercer escenario analizado se presentan los máximos tiempos de viaje en el extremo occidente de la ciudad, seguido por los obtenidos al extremo oriente de la ciudad y los mejores tiempos de viaje se ubican en la comuna tesorito en el sector de La Enea y en el centro en la comuna universitaria y comuna palogrande en especial el sector del cable, se debe a las nuevas estaciones propuestas en el escenario 3, a continuación, el gráfico de dispersión correspondiente.

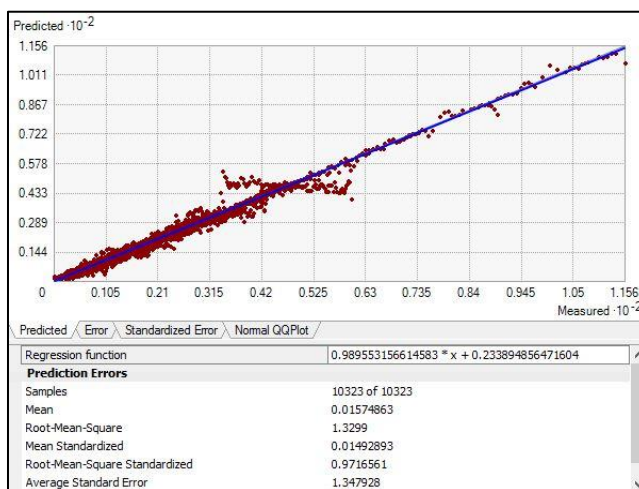


Figura 45. Gráfico de dispersión accesibilidad integral Escenario 3 (Fuente Propia)

6.1.4 Alternativa 4

El cuarto planteamiento de accesibilidad media integral presenta el siguiente recorrido:

La Enea - Bosque Popular – Barrio Milán – Estación del Cable hacia Los Yarumos.

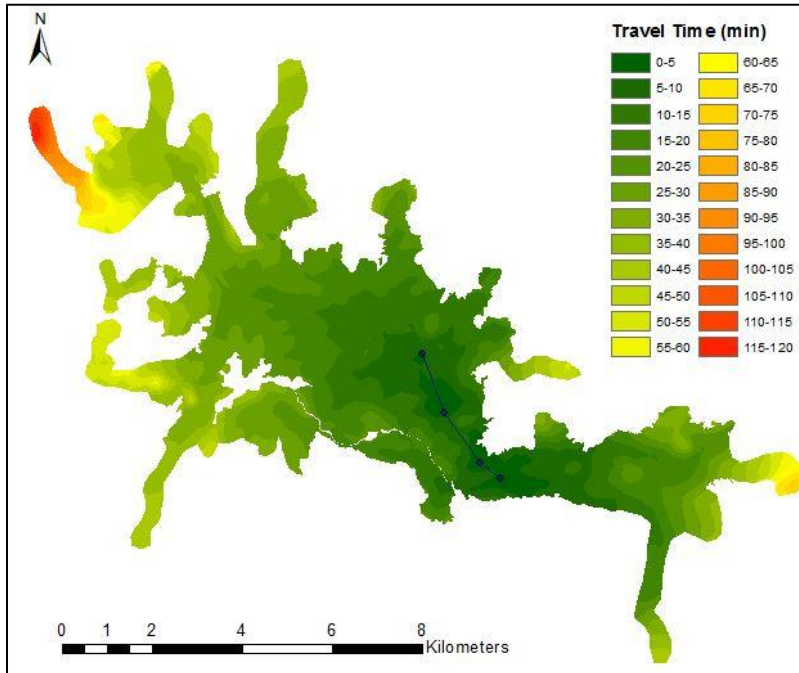


Figura 46. Curvas isócronas de accesibilidad media integral para el escenario 4 (Fuente Propia)

En el cuarto escenario analizado se presentan los máximos tiempos de viaje en el extremo occidente de la ciudad, seguido por los obtenidos al extremo oriente de la ciudad y los mejores tiempos de viaje se ubican en la comuna tesorito en el sector de La Enea y en el centro en el sector del cable, se debe a las nuevas estaciones propuestas en el escenario 4, a continuación el gráfico de dispersión correspondiente.

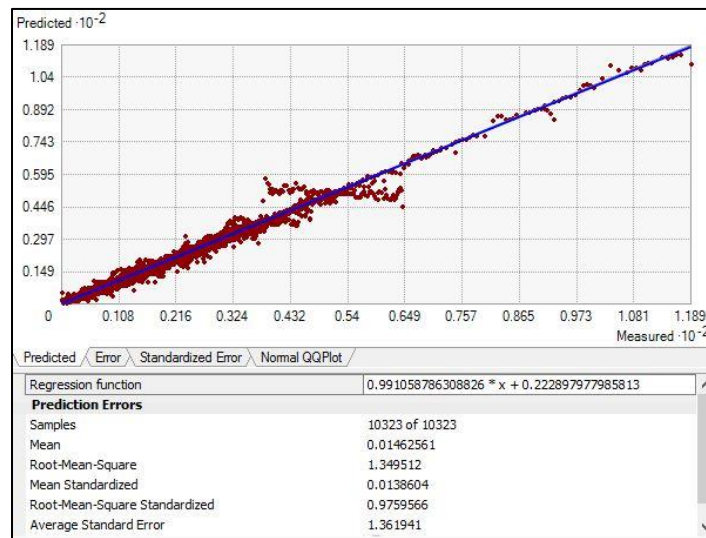


Figura 47. Gráfico de dispersión accesibilidad Integral Escenario (Fuente Propia)

6.1.5 Alternativa 5

El quinto planteamiento de accesibilidad media integral presenta el siguiente recorrido:

La Enea - Bosque Popular – Expoferias – Milán - Estación del Cable hacia Los Yarumos.

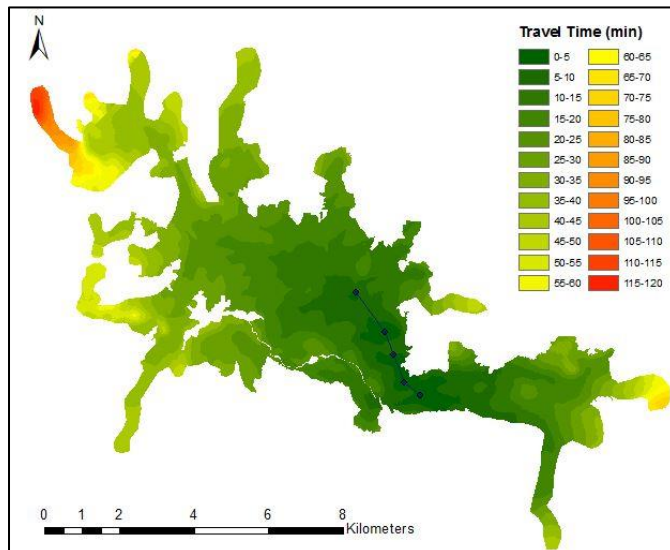


Figura 48. Curvas isócronas de accesibilidad media integral para el escenario 5 (Fuente Propia)

En el quinto escenario analizado se presentan los máximos tiempos de viaje en el extremo occidente de la ciudad, seguido por los obtenidos al extremo oriente de la ciudad y los mejores tiempos de viaje se ubican en la comuna tesorito, en la comuna palogrande y toda el área comprendida entre ellas que sigue el trazado de la línea del cable, se debe a las nuevas estaciones propuestas en el actual escenario, a continuación el gráfico de dispersión correspondiente.

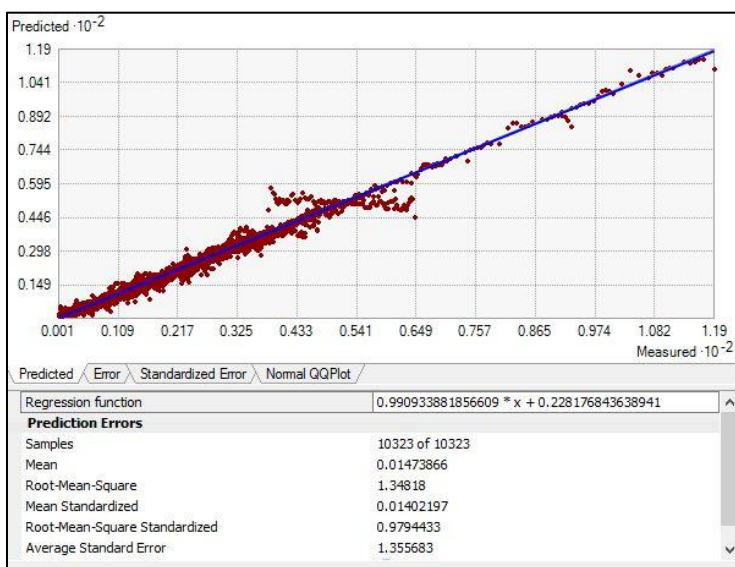


Figura 49. Gráfico de dispersión accesibilidad integral Escenario 5 (Fuente Propia)

6.1.6 Alternativa 6

El sexto planteamiento de accesibilidad media integral presenta el siguiente recorrido:

La Enea – Barrio Pio XII – Estación Los Cambulos - Estación del Cable hacia Los Yarumos.

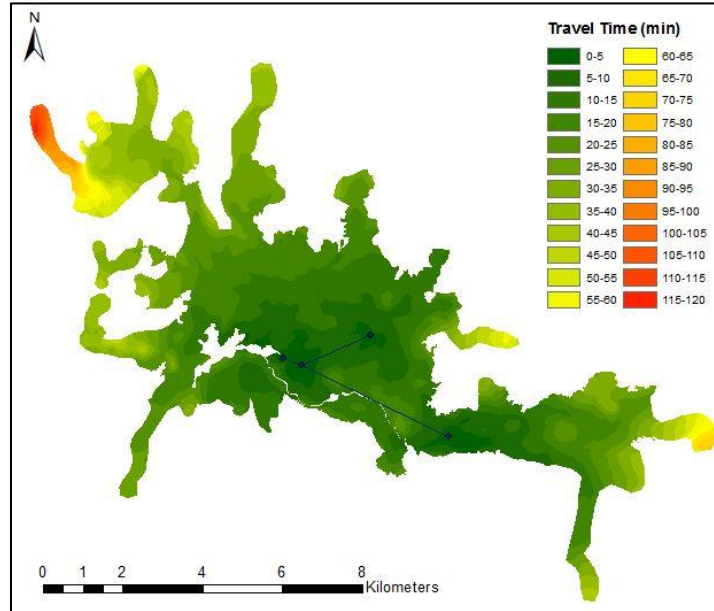


Figura 50. Curvas isócronas de accesibilidad media integral para el escenario 6 (Fuente Propia)

En el sexto escenario analizado se presentan los máximos tiempos de viaje en el extremo occidental de la ciudad, seguido por los obtenidos al extremo oriental de la ciudad y los mejores tiempos de viaje se ubican en la comuna tesorito, en la comuna universitaria y el municipio de Villamaria, se debe a las nuevas estaciones propuestas en el actual escenario, a continuación el gráfico de dispersión correspondiente.

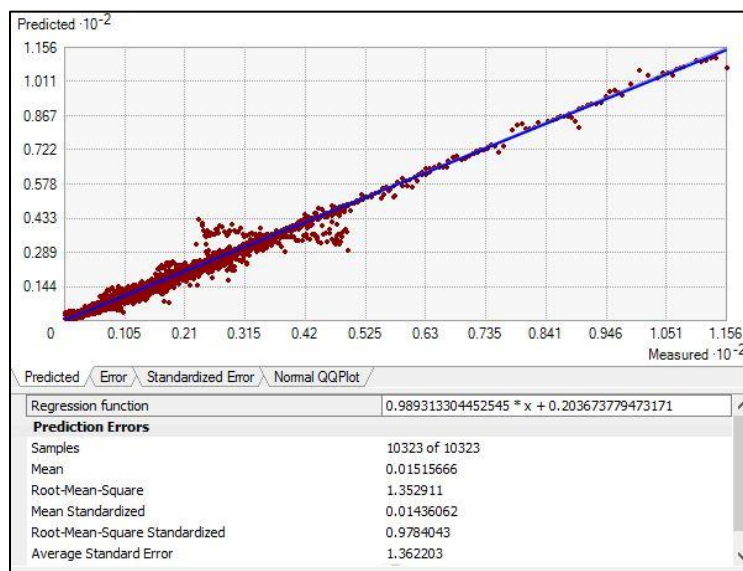


Figura 51. Gráfico de dispersión accesibilidad integral Escenario (Fuente Propia)

6.2 Accesibilidad Media Global

6.2.1 Actual

La red actual cuenta con 2.82 kilómetros de líneas de cable aéreo.

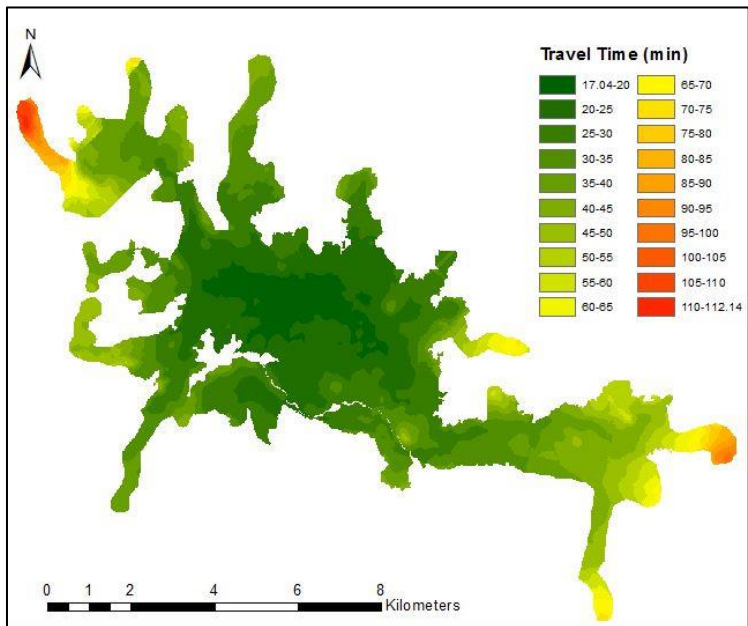


Figura 52. Curvas isócronas de accesibilidad media global para el escenario Actual (Fuente Propia)

Al igual que los análisis de accesibilidad media integral los mayores tiempos se presentan al oriente y occidente de la ciudad. En este caso el menor tiempo de viaje registrado fue 17.04 minutos registrados en el centro de la ciudad y el mayor 112.14 minutos en La Linda al occidente, a continuación el gráfico de dispersión correspondiente.

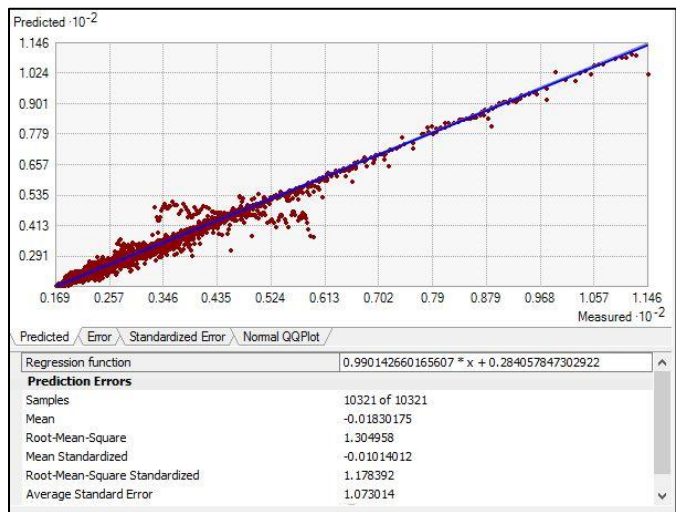


Figura 53. Gráfico de dispersión Accesibilidad global Escenario Actual (Fuente Propia)

6.2.2 Alternativa 1

En este escenario la línea del cable aéreo tiene una longitud de 5,9 kilómetros.

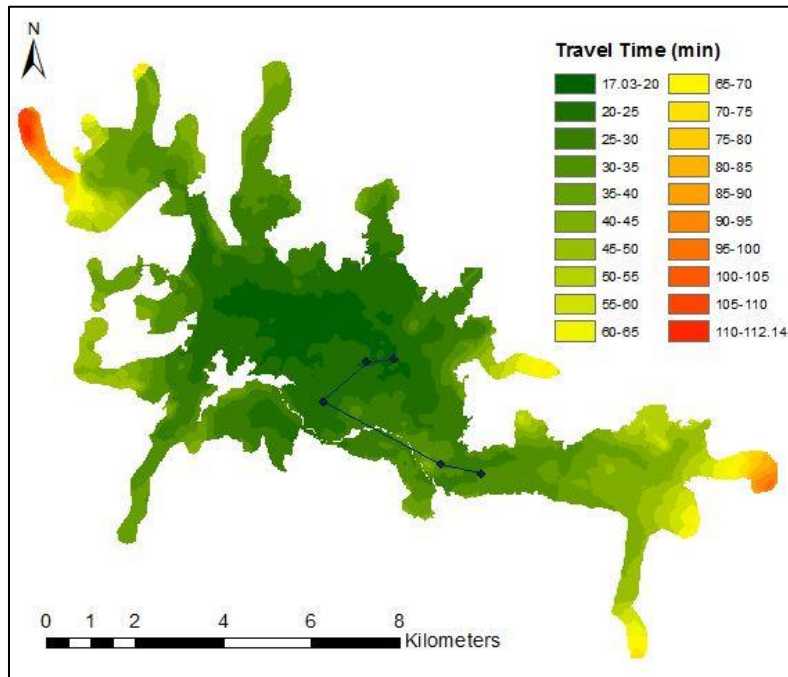


Figura 54. Curvas isócronas de accesibilidad media global para el escenario 1 (Fuente Propia)

Para este escenario el menor tiempo de viaje registrado fue 17.03 minutos registrados en el centro de la ciudad y el mayor 112.14 minutos en La Linda al occidente. Presenta una gran similitud al escenario actual con una mejora importante en el sector del bosque popular, a continuación el gráfico de dispersión correspondiente.

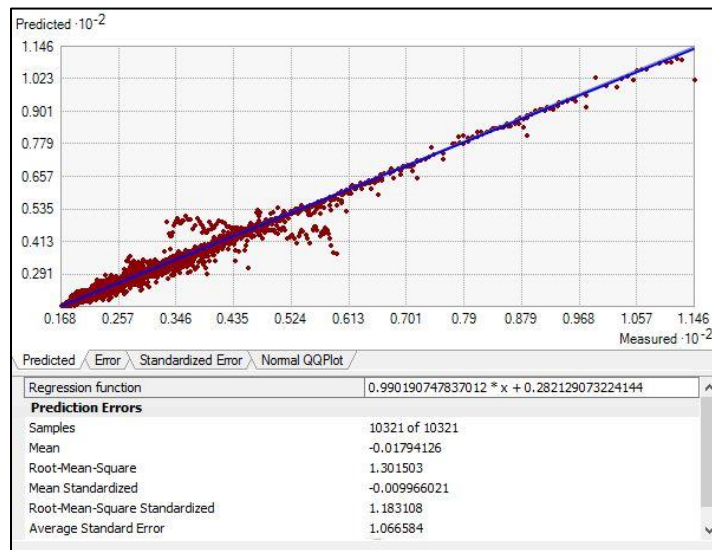


Figura 55. Gráfico de dispersión Accesibilidad global Escenario 1 (Fuente Propia)

6.2.3 Alternativa 2

La alternativa tiene una longitud en líneas de cable de 3,9 kilómetros.

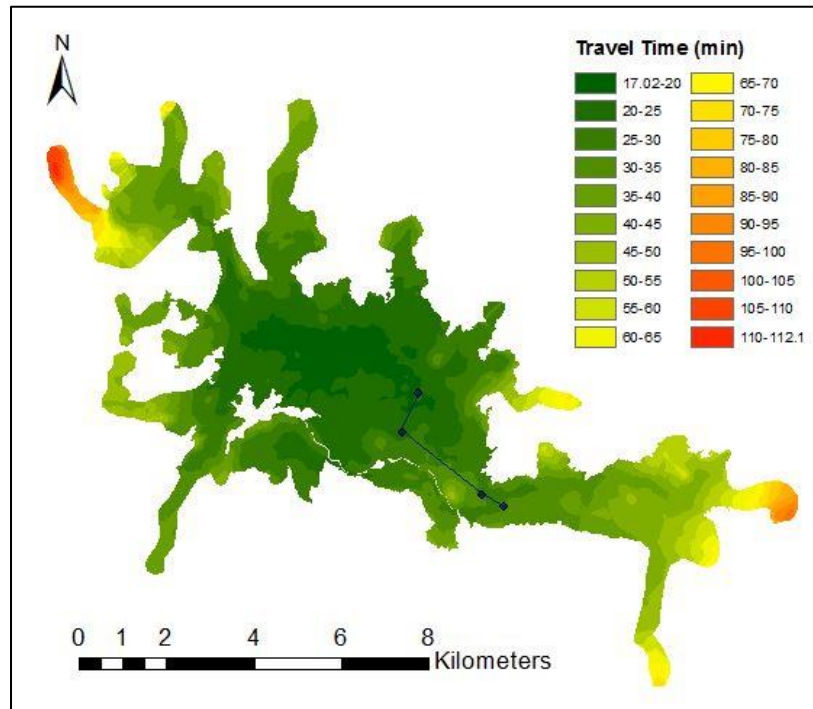


Figura 56. Curvas isócronas de accesibilidad media global para el escenario 2 (Fuente Propia)

La propuesta presenta el menor tiempo de viaje registrado en 17.02 minutos registrados en el centro de la ciudad y el mayor 112.1 minutos en la Linda al occidente, a continuación, el gráfico de dispersión correspondiente.

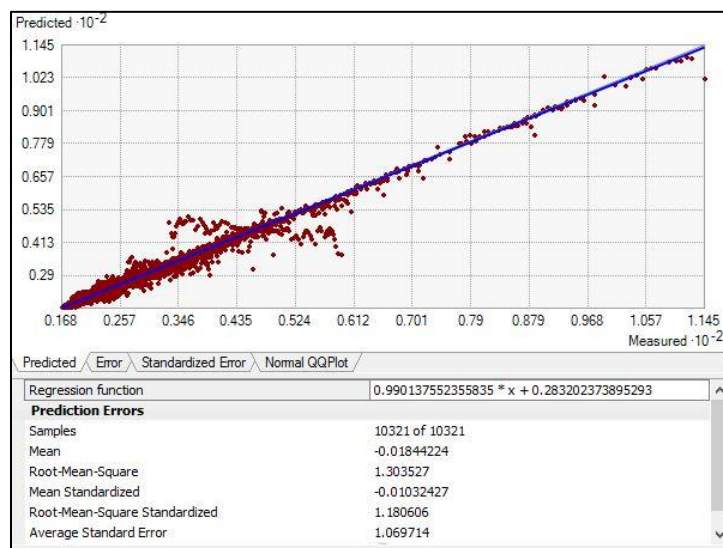


Figura 57. Gráfico de dispersión Accesibilidad global Escenario 2 (Fuente Propia)

6.2.4 Alternativa 3

La alternativa tiene una longitud en líneas de cable de 3,9 kilómetros.

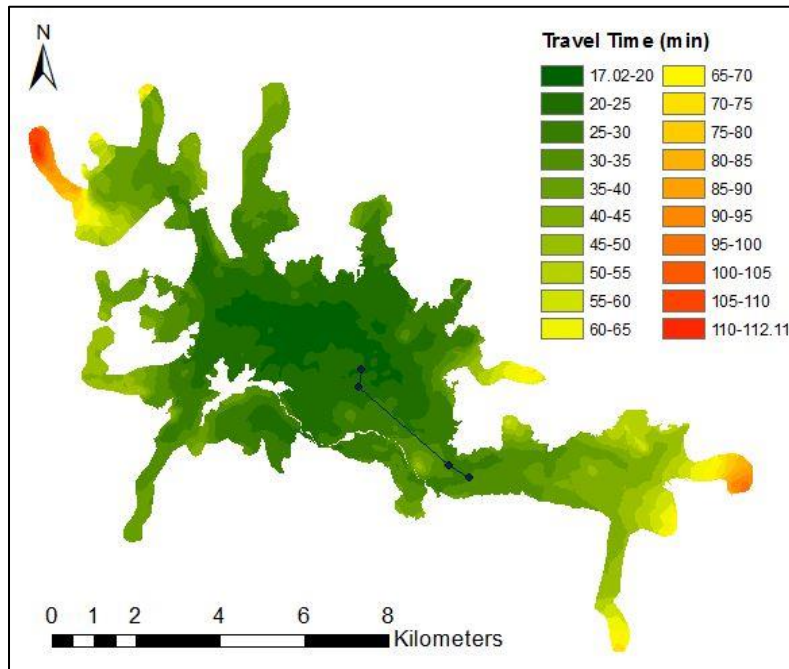


Figura 58. Curvas isócronas de accesibilidad media global para el escenario 3 (Fuente Propia)

La propuesta presenta el menor tiempo de viaje registrado en 17.02 minutos registrados en el centro de la ciudad y el mayor 112.11 minutos en La Linda al occidente, a continuación, el gráfico de dispersión correspondiente.

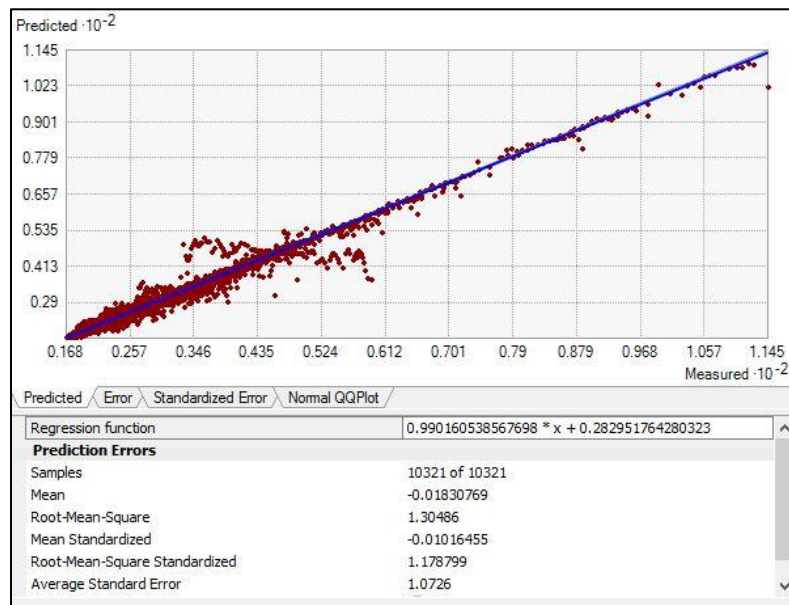


Figura 59. Gráfico de dispersión Accesibilidad global Escenario 3 (Fuente Propia)

6.2.5 Alternativa 4

La alternativa tiene una longitud en líneas de cable de 3,4 kilómetros.

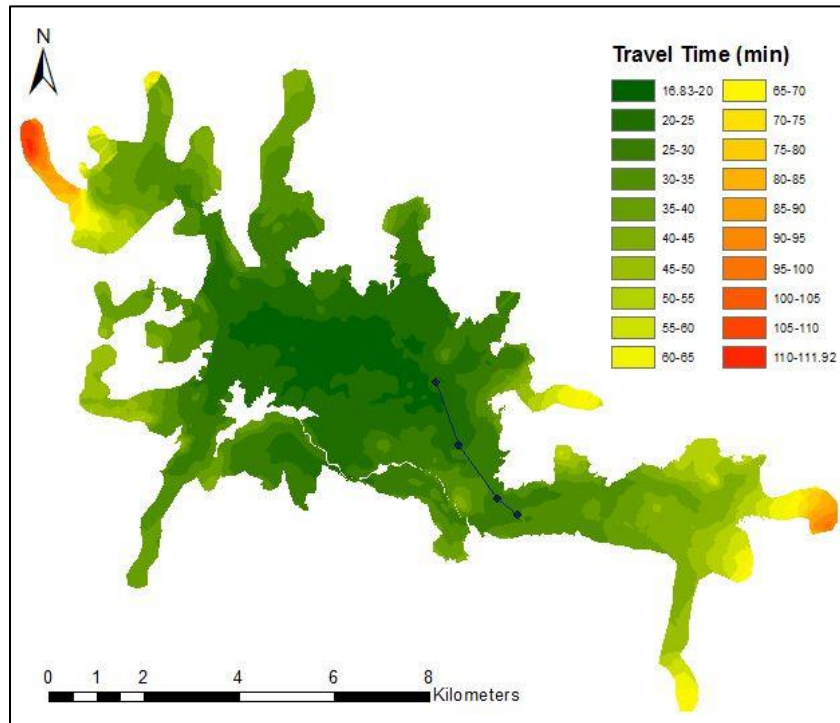


Figura 60. Curvas isócronas de accesibilidad media global para el escenario 4 (Fuente Propia)

La propuesta presenta el menor tiempo de viaje registrado en 16.83 minutos registrados en el centro de la ciudad y el mayor 111.92 minutos en La Linda al occidente. En esta alternativa se presentan los tiempos más bajos de toda la red comparados con el escenario actual y los otros escenarios evaluados, a continuación el gráfico de dispersión correspondiente, a continuación el gráfico de dispersión correspondiente.

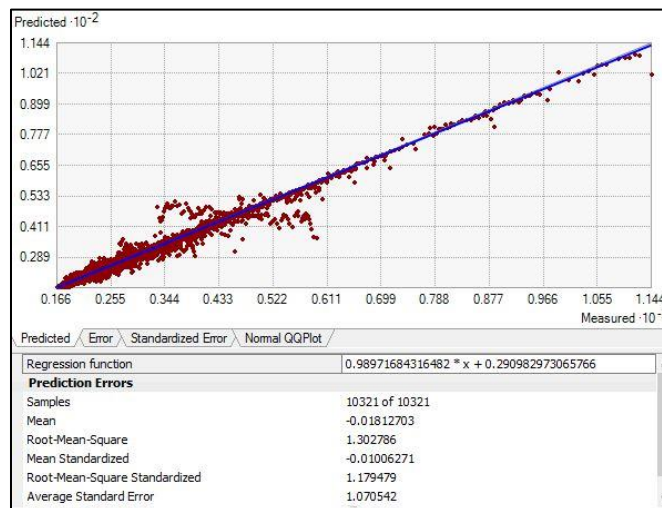


Figura 61. Gráfico de dispersión Accesibilidad global Escenario 4 (Fuente Propia)

6.2.6 Alternativa 5

La alternativa tiene una longitud en líneas de cable de 3,4 kilómetros,

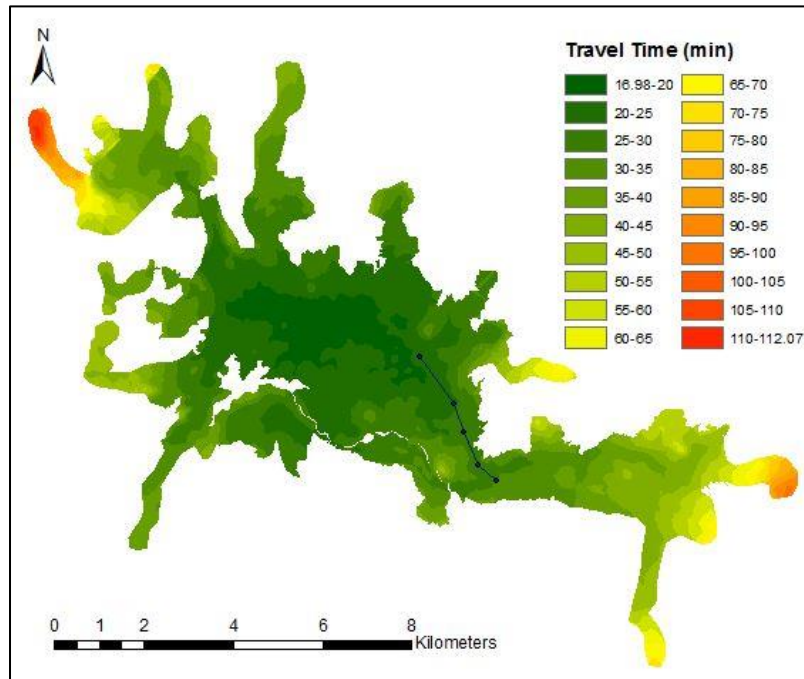


Figura 62. Curvas isócronas de accesibilidad media global para el escenario 5 (Fuente Propia)

Para esta propuesta el menor tiempo de viaje registrado es 16.98 minutos en el centro de la ciudad y el mayor 112.07 minutos en La Linda al occidente. Al igual que la alternativa 4 presenta tiempos mínimos de viaje por debajo de 17 minutos para el centro de la ciudad, a continuación el gráfico de dispersión correspondiente.

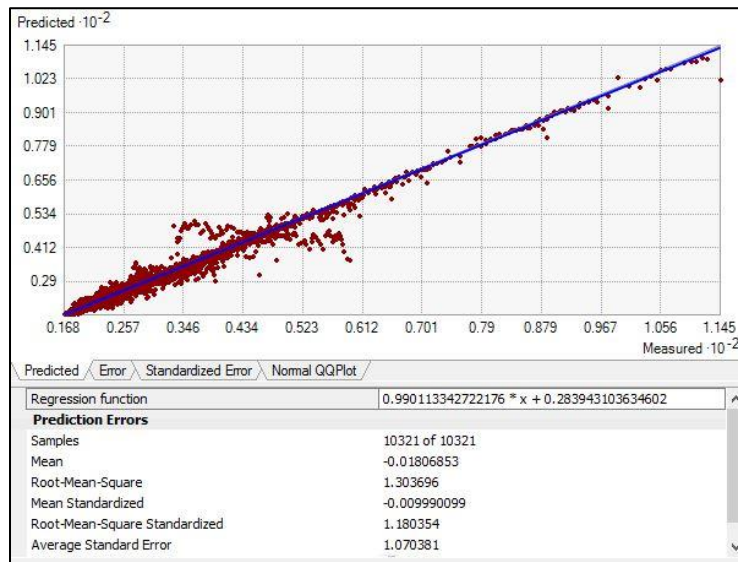


Figura 63. Gráfico de dispersión Accesibilidad global Escenario 5 (Fuente Propia)

6.2.7 Alternativa 6

La alternativa tiene una longitud en líneas de cable de 6,5 kilómetros.

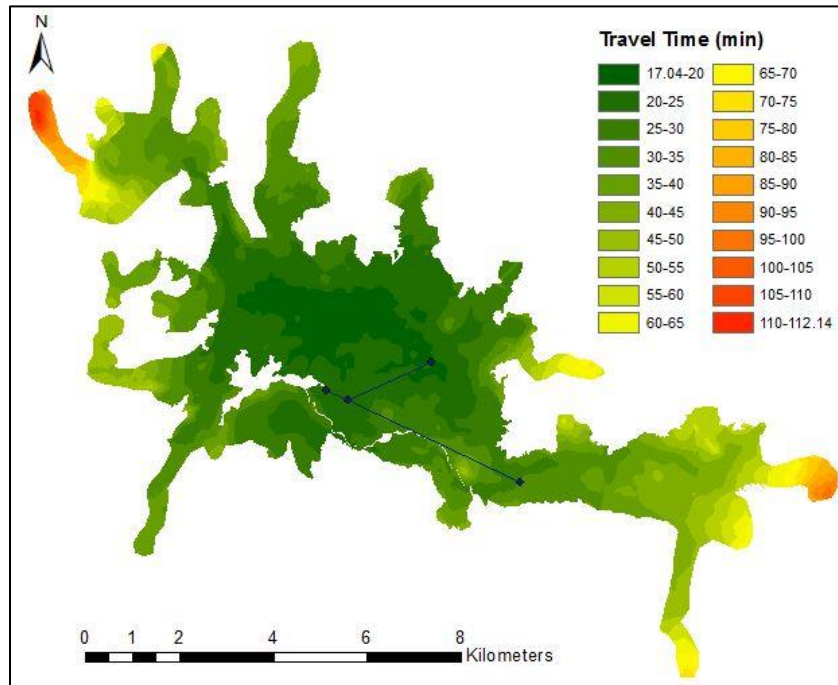


Figura 64. Curvas isócronas de accesibilidad media global para el escenario 6 (Fuente Propia)

En este escenario el menor tiempo de viaje registrado es 17,04 minutos en el centro de la ciudad y el mayor 112.14 minutos en La Linda al occidente, a continuación el gráfico de dispersión correspondiente.

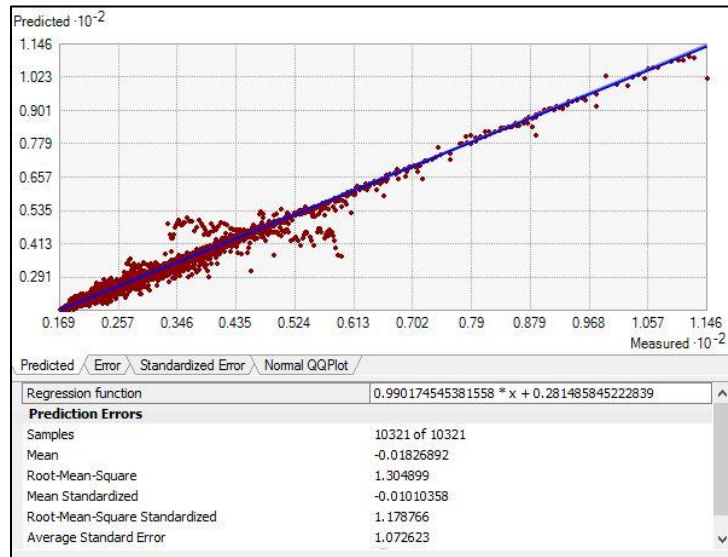


Figura 65. Gráfico de dispersión Accesibilidad global Escenario 6 (Fuente Propia)

6.3 Gradientes

6.3.1 Alternativa 1

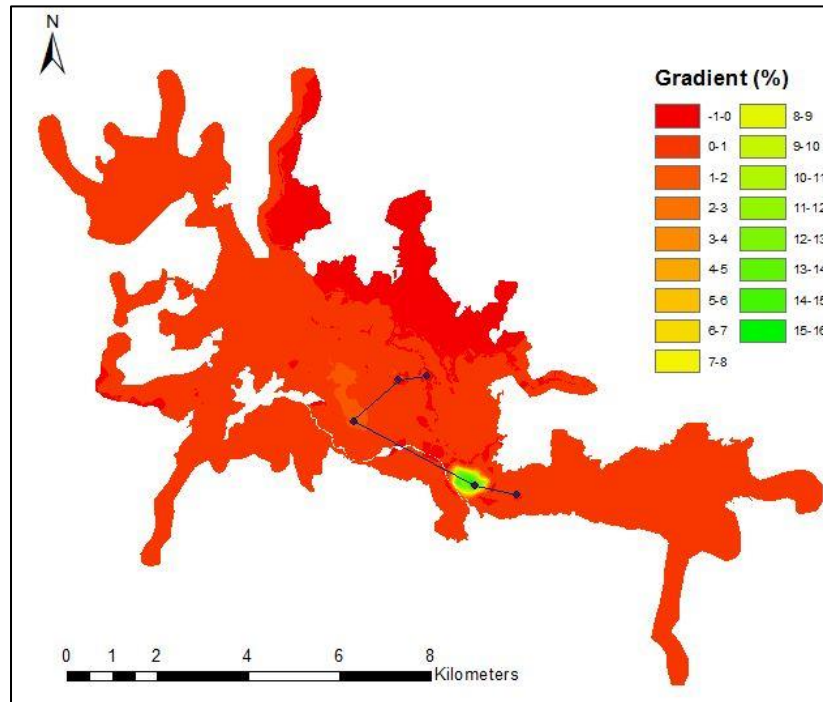


Figura 66. Curvas isócronas del gradiente para el escenario 1 (Fuente Propia)

Los resultados obtenidos nos indican que hubo mejoras porcentuales significativas en el tiempo de viaje en una zona puntual, la cual está ubicada en el sector del bosque popular. Logrando porcentajes hasta del 15 por ciento en ese sector, en la zona norte de la ciudad no se presentaron mejoras significativas en los tiempos de viaje, para el resto de la ciudad se lograron reducir los tiempos de viaje, a continuación el gráfico de dispersión correspondiente.

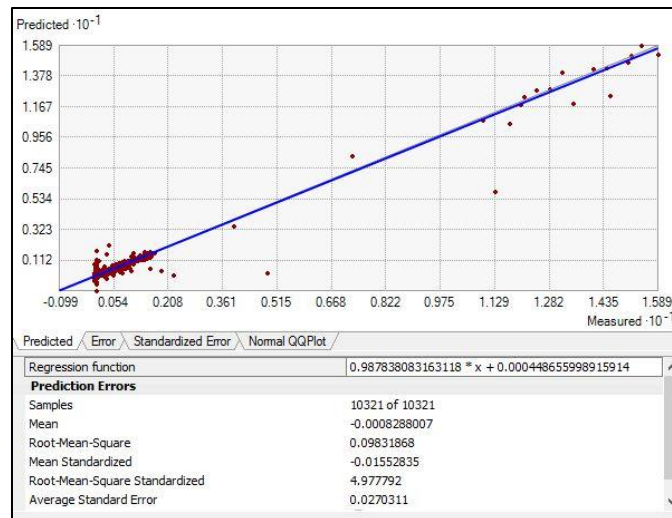


Figura 67. Gráfico de dispersión Gradiente Escenario 1 (Fuente Propia)

6.3.2 Alternativa 2

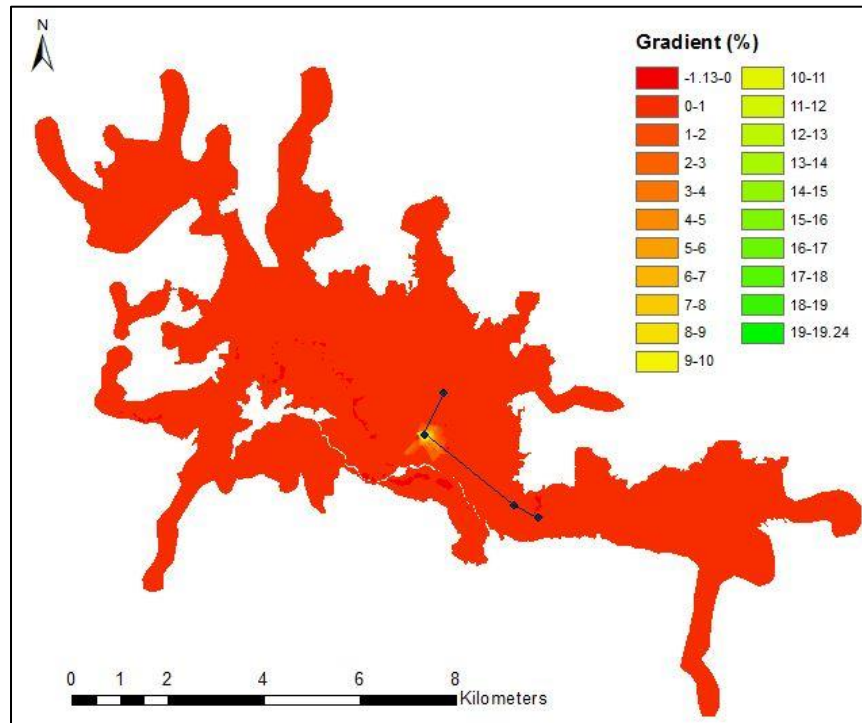


Figura 68. Curvas isócronas del gradiente para el escenario 2 (Fuente Propia)

Para esta alternativa podemos observar que la zona con los mayores ahorros en tiempos de viaje es el barrio Pio XII, alcanzando porcentajes hasta del 19% en el sector. Para el resto de la ciudad se presentaron reducciones uniformes entre 0% y 1% en los tiempos de viaje a excepción de algunas zonas específicas donde no hubo disminuciones, a continuación el gráfico de dispersión correspondiente.

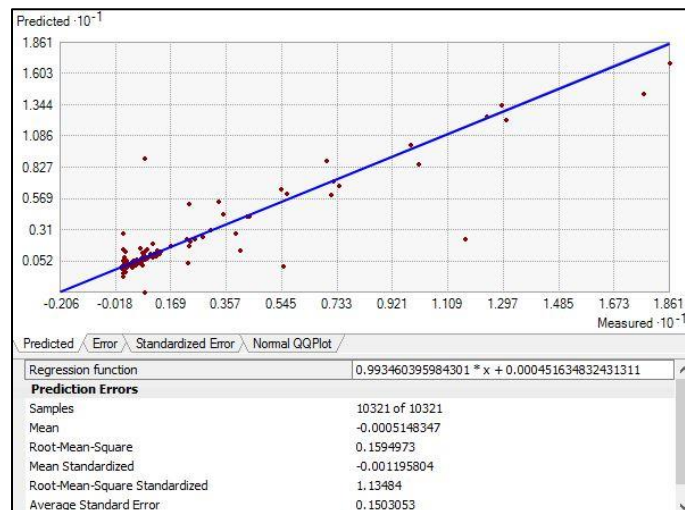


Figura 69. Gráfico de dispersión Gradiente Escenario 2 (Fuente Propia)

6.3.3 Alternativa 3

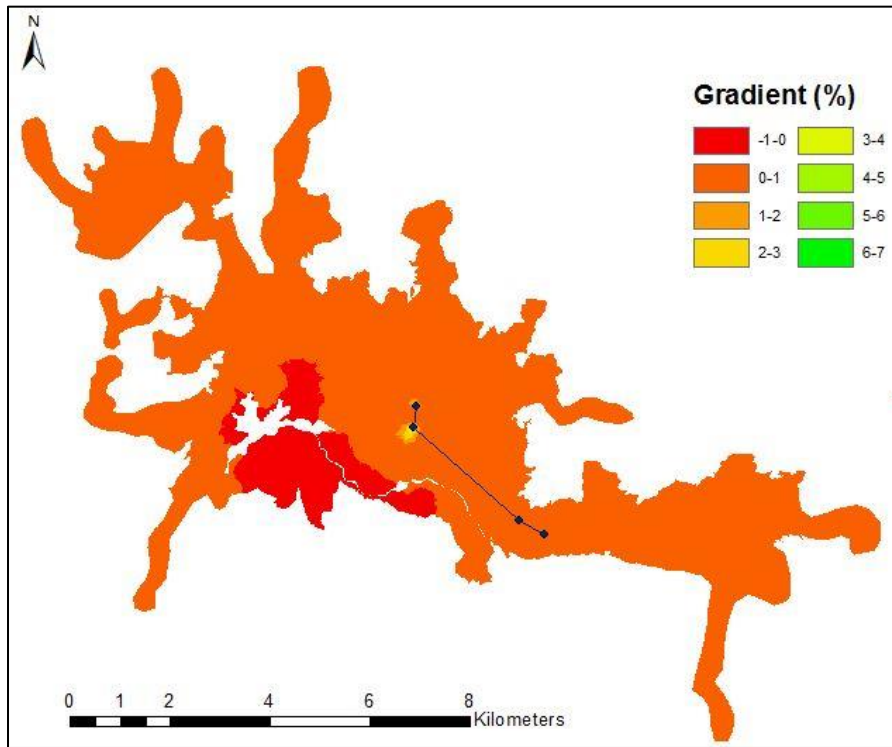


Figura 70. Curvas isócronas del gradiente para el escenario 3 (Fuente Propia)

En la gráfica podemos observar que el barrio Palermo es el más beneficiado presentando porcentajes de ahorro hasta del 6%, para el resto de la ciudad se presentan porcentajes de disminución entre el 0% y 1%, la excepción es el municipio de Villamaria y las áreas más al sur de las comunas La Macarena, La Fuente donde no hubo mejoras en la accesibilidad con la nueva alternativa, a continuación el gráfico de dispersión correspondiente.

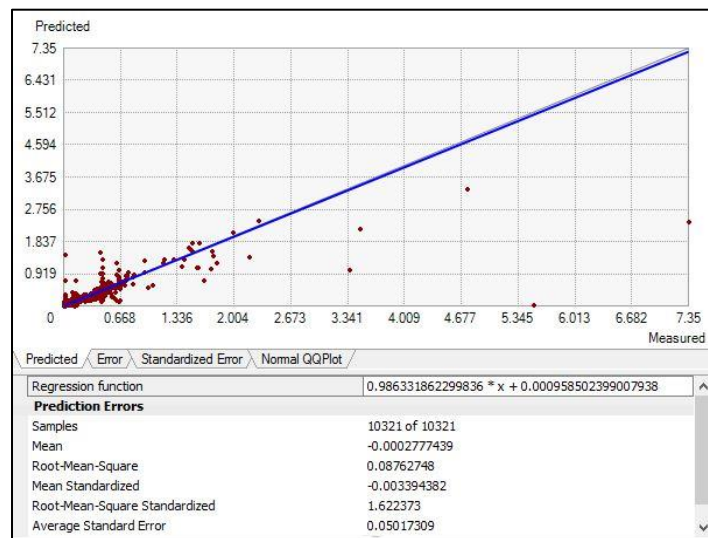


Figura 71. Gráfico de dispersión Gradiente Escenario 3 (Fuente Propia)

6.3.4 Alternativa 4

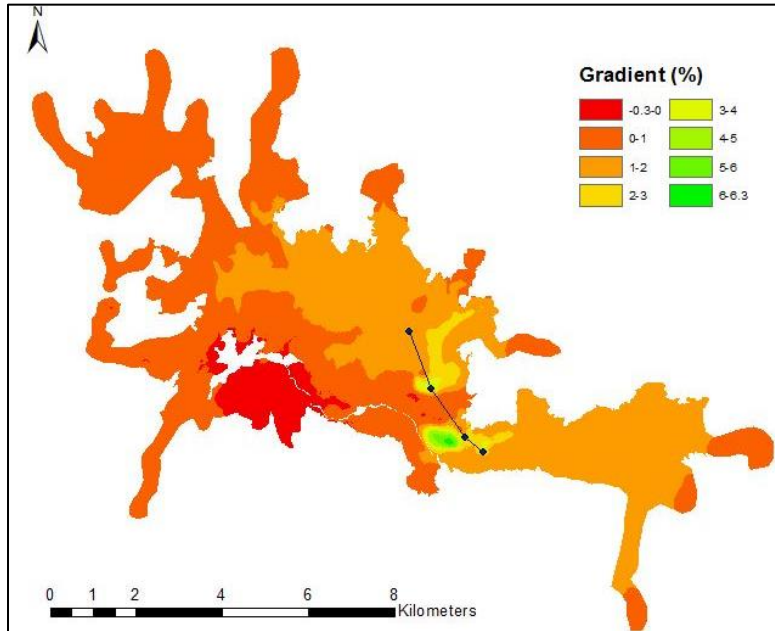


Figura 72. Curvas isócronas del gradiente para el escenario 4 (Fuente Propia)

Los resultados obtenidos considerando la alternativa número 4 muestran los ahorros en los tiempos de viaje más altos para el sector del bosque popular de hasta 6%, seguido por la zona de Milán con ahorros del 4%. La propuesta de cable aéreo también tendría un impacto muy positivo sobre el norte de la ciudad y la comuna tesorito que incluye al barrio la enea, donde se encuentra ubicada una estación del cable aéreo. Por otra parte, para el municipio de Villamaria no hubo mejoras en la accesibilidad con la nueva alternativa, ya que en este escenario no hay una conexión importante con el municipio, a continuación el gráfico de dispersión correspondiente.

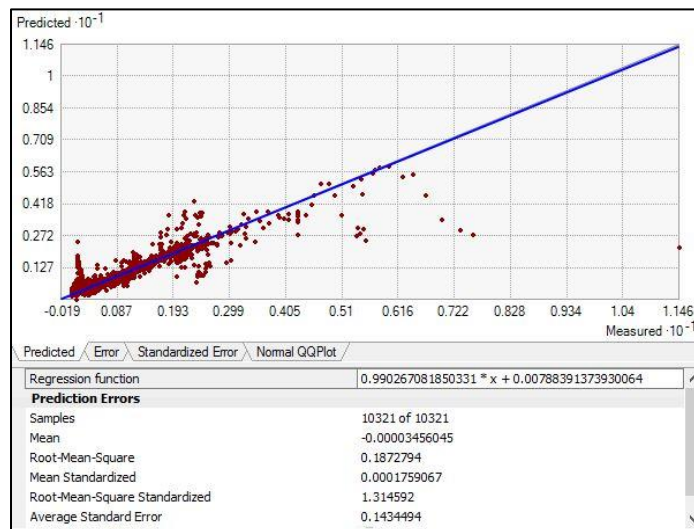


Figura 73. Gráfico de dispersión Gradiente Escenario 4 (Fuente Propia)

6.3.5 Alternativa 5

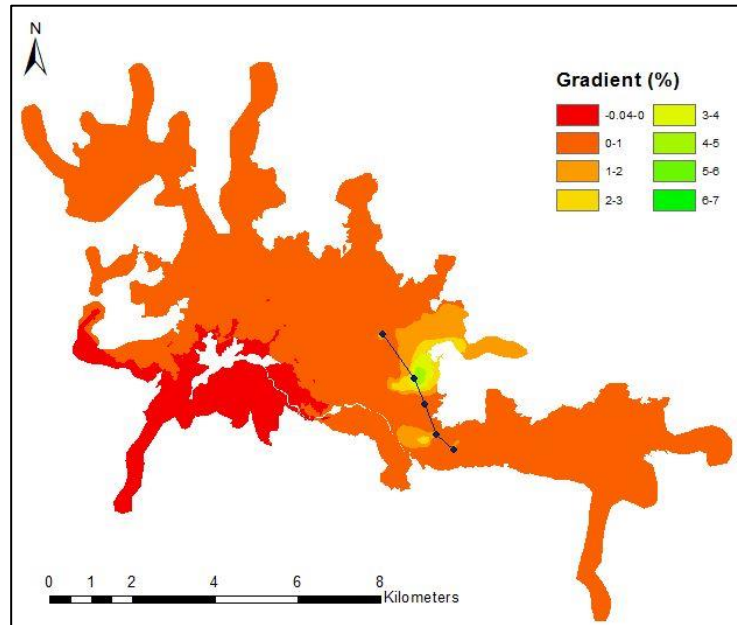


Figura 74. Curvas isócronas del gradiente para el escenario 5 (Fuente Propia)

El escenario número 5 nos indica que el sector que más se ve favorecido es el del barrio Milán, correspondiente a la comuna Ecoturística Cerro de Oro mostrando ahorros de hasta el 6%. Para el resto de la ciudad se presentan disminuciones entre el 0% y 1% con unos mayores valores en los lugares donde están ubicadas las estaciones del cable aéreo, en la zona abarcada por el municipio de Villamaria no hubo mejoras en la accesibilidad en este nuevo escenario, ya que para esta alternativa se tiene contemplada una importante conexión con el municipio, a continuación el gráfico de dispersión correspondiente.

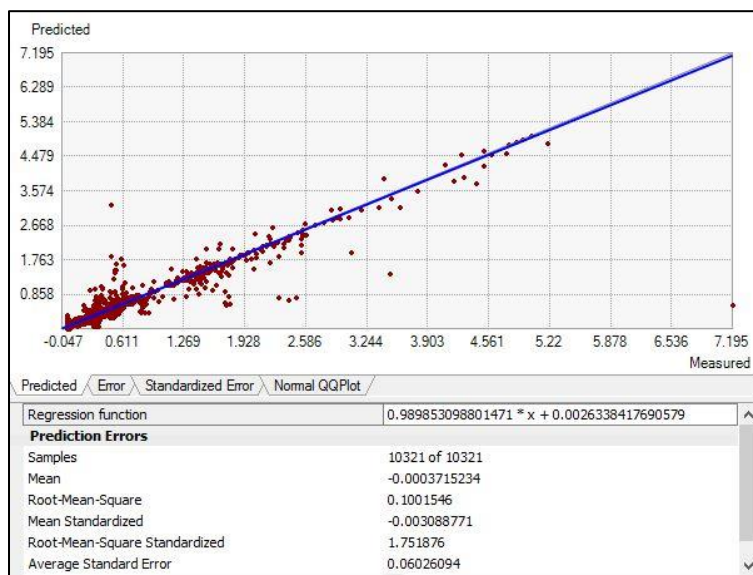


Figura 75. Gráfico de dispersión Gradiente Escenario 5 (Fuente Propia)

6.3.6 Alternativa 6

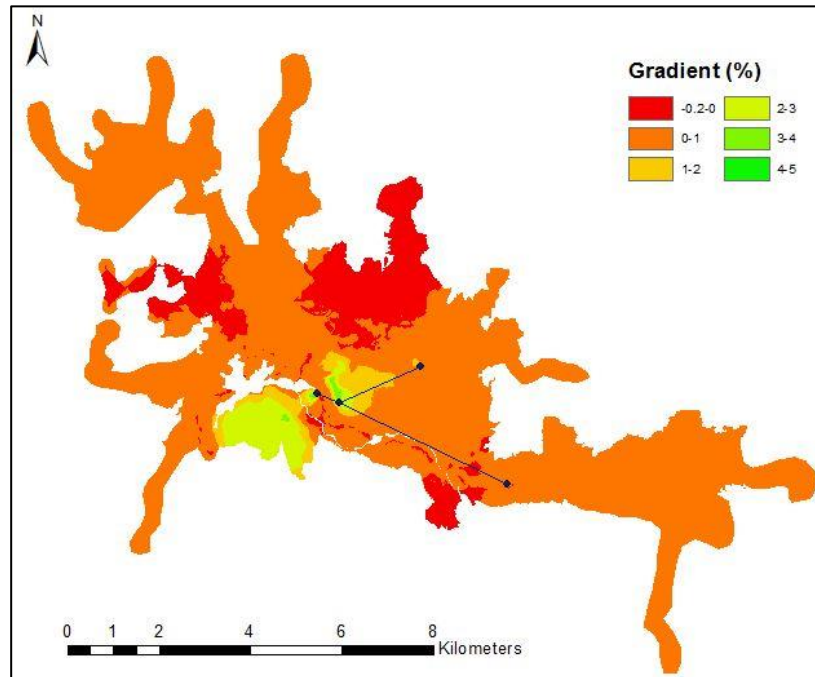


Figura 76. Curvas isócronas del gradiente para el escenario 6 (Fuente Propia)

Los resultados en el escenario número seis nos indican que los sectores más beneficiados son las comunas Universitaria, Palogrande y el municipio de Villamaria, la causa de lo anterior es la conexión con la estación ubicada en el terminal de transporte, siendo la única alternativa que logra una integración de las líneas nuevas de cable aéreo con las ya existentes. Con esta nueva alternativa la comuna ciudadela del norte no se ve afectada positivamente ya que no presenta ahorros en los tiempos de viaje para el sector, a continuación el gráfico de dispersión correspondiente.

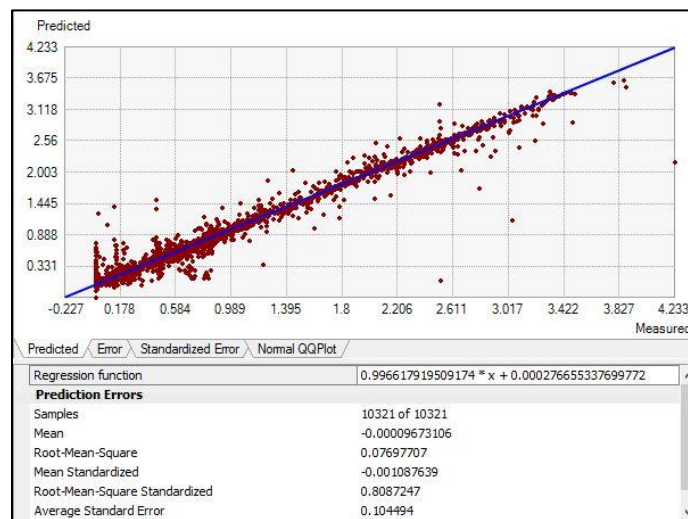


Figura 77. Gráfico de dispersión Gradiente Escenario (Fuente Propia)

7. Argumento Comparativo

La representación gráfica permite realizar una interpretación de los resultados obtenidos y llevar a cabo una comparación entre el escenario actual y los escenarios propuestos, las cuatro primeras gráficas relacionan el tiempo de viaje con el porcentaje de cobertura para la accesibilidad media integral y accesibilidad media global respectivamente, las últimas tres gráficas corresponde al análisis del gradiente presentado, relacionando el porcentaje de cobertura con el porcentaje de tiempo ahorrado de las seis alternativas comparadas al escenario actual.

7.1 Accesibilidad Media Integral

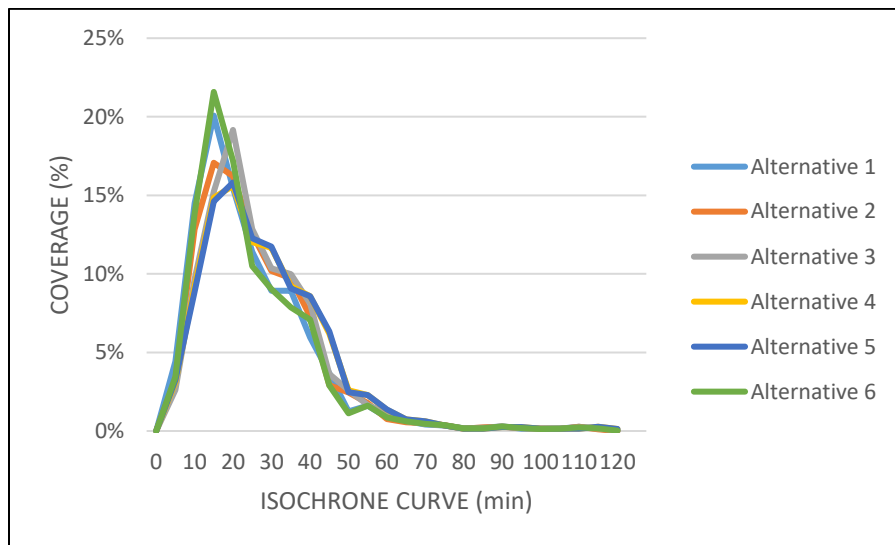


Figura 78. Porcentaje de cobertura vs Tiempo de viaje (Fuente Propia)

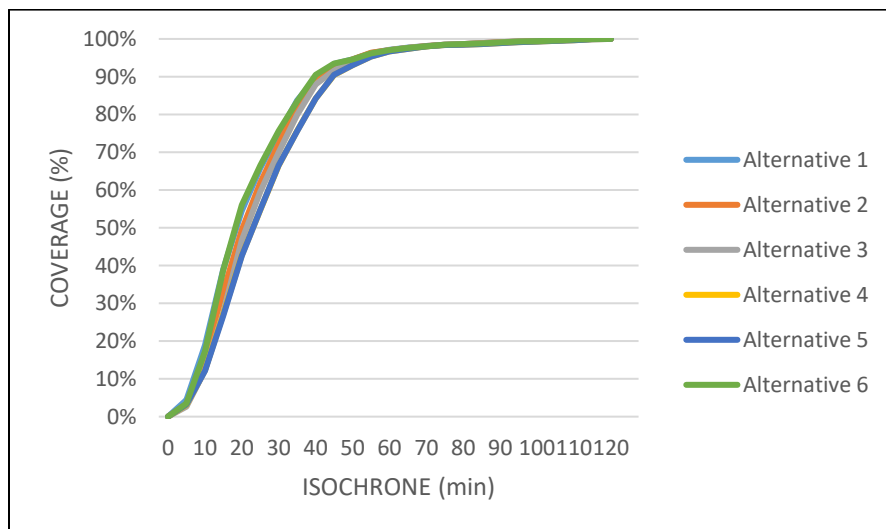


Figura 79. Porcentaje de cobertura acumulado vs Tiempo de viaje (Fuente Propia)

7.2 Accesibilidad media global

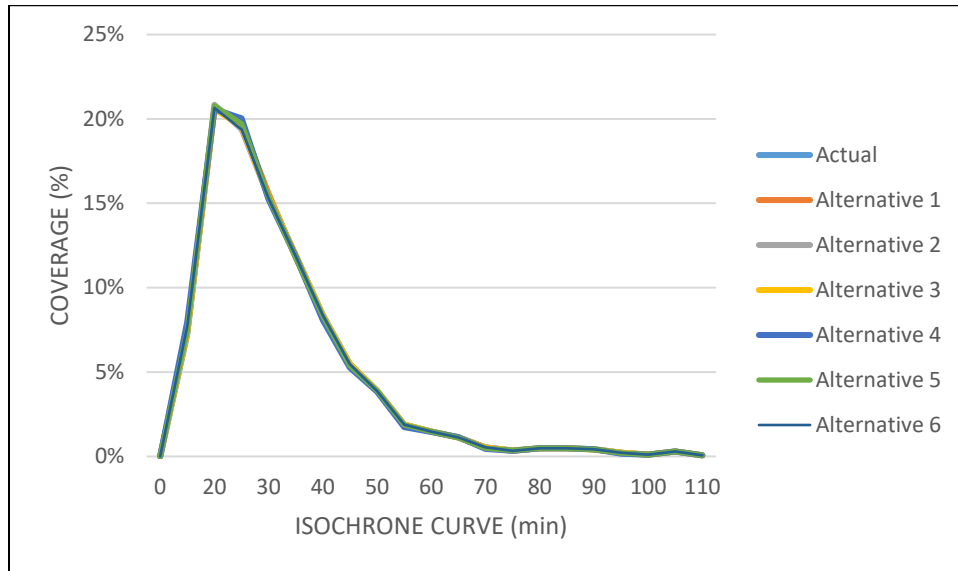


Figura 80. Porcentaje de cobertura vs Tiempo de viaje (Fuente Propia)

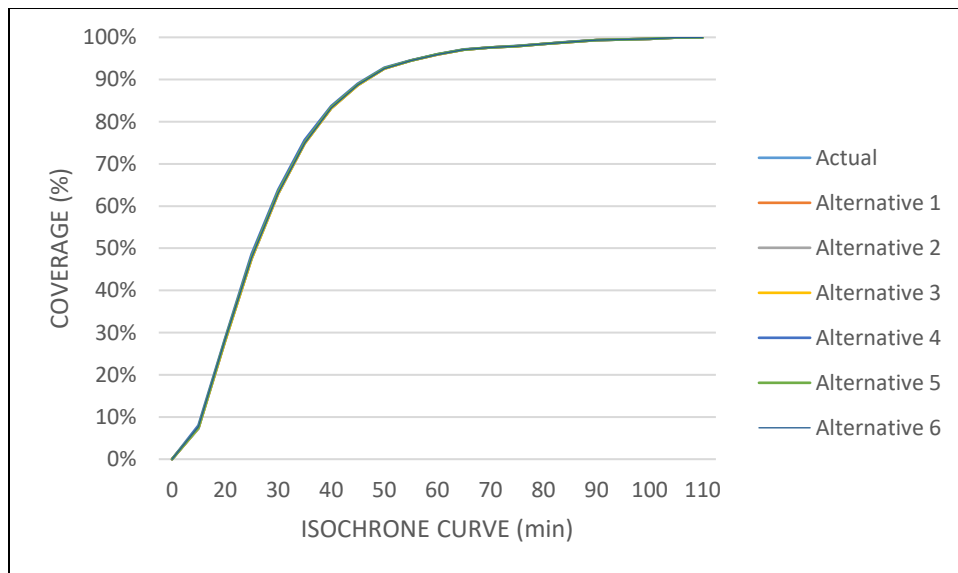


Figura 81. Porcentaje de cobertura acumulado vs Tiempo de viaje (Fuente Propia)

7.3 Gradiente

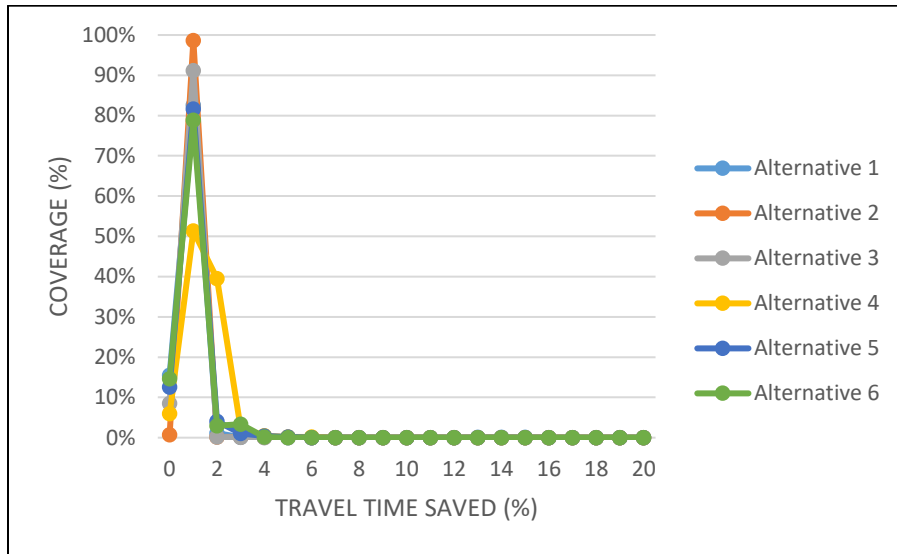


Figura 82. Porcentaje de cobertura vs Porcentaje de tiempo ahorrado (Fuente Propia)

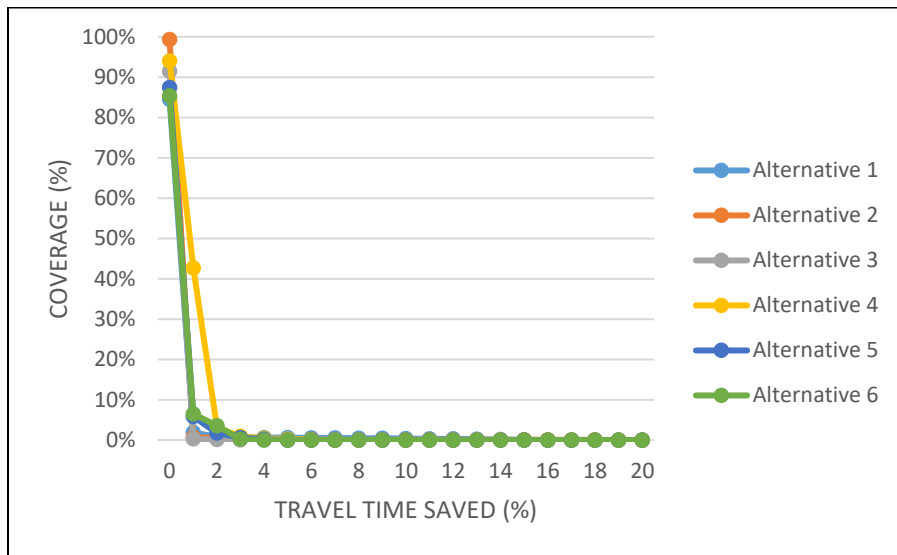


Figura 83. Porcentaje de cobertura acumulado vs Porcentaje de tiempo ahorrado (Fuente Propia)

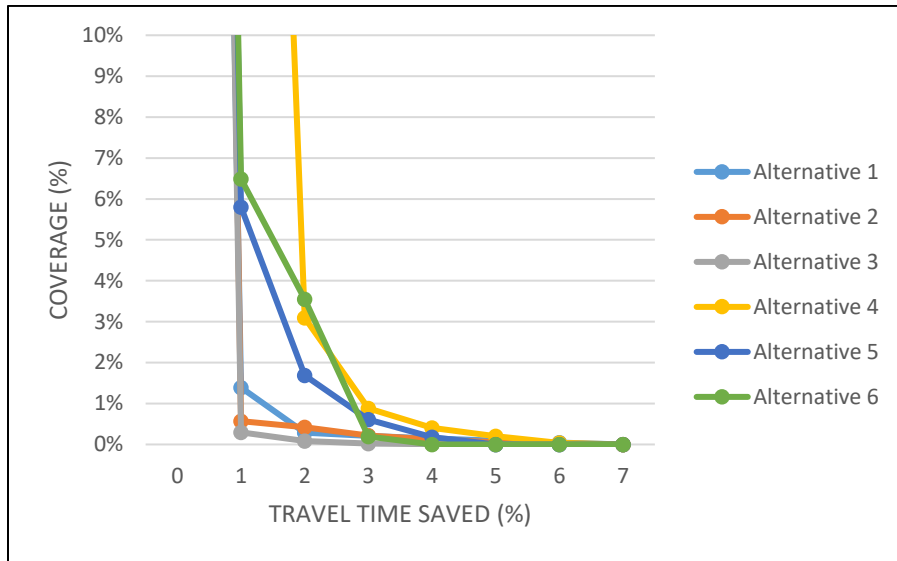


Figura 84. Gradiente con acercamiento entre el 1% y 7% del tiempo ahorrado (Fuente Propia)

Después de analizar las gráficas de accesibilidad media integral se puede observar que al ubicar las estaciones de cable aéreo como se indica en la alternativa número seis, se tiene un mayor porcentaje de cobertura en un menor tiempo que los otros escenarios, con su pico en el minuto 15 teniendo un porcentaje de 21.58%, el siguiente pico lo presenta la alternativa 1 (Figura 78) con un porcentaje de 20.07%. Por otra parte, la alternativa 5 es la que presenta menor relación entre cobertura y tiempo de viaje, encontrándose más a la derecha que las otras alternativas (Figura 79).

En la gráfica (Figura 80) correspondiente a la accesibilidad media global se puede observar la relación entre el porcentaje de cobertura y el tiempo de viaje, las seis alternativas tienen su pico en el minuto 20 con un porcentaje aproximado del 20% de cobertura para todos los escenarios. Al relacionar el tiempo de viaje con el porcentaje de cobertura acumulado (Figura 81) no se puede apreciar notablemente la diferencia entre ellas por su similitud, pero al revisar las gráficas (Figura 81, 82 y 83) de gradiente se puede apreciar claramente que la alternativa 4 tiene mayores porcentajes de tiempo de viaje ahorrados que los otros escenarios (Figura 84), por ejemplo, para una cobertura del 20% presenta un porcentaje ahorrado del 1% más de tiempo de viaje que las otras alternativas. La alternativa tres presenta los menores porcentajes de tiempo ahorrado, logrando que el 0,29% de cobertura tenga más del 1% de ahorro en sus tiempos de viaje.

Evaluando los seis escenarios respecto al panorama actual de la red de Manizales todos generan un impacto positivo, mejorando los tiempos de viajes de diferentes formas, ahorrando altos porcentajes en zonas puntuales o con ahorros de porcentaje menores en áreas específicas y algunos en áreas más grandes, pero con porcentajes de ahorros mínimos.

8. Conclusiones

En la investigación se pudo concluir la importancia del proceso y de los resultados obtenidos en este estudio, para así dar solución a problemáticas inmersas en las dinámicas de movilidad urbana sostenible dentro de las conexiones de la red vial en la ciudad de Manizales, a través de herramientas de sistemas de información geográfica, las cuales tienen una gran relevancia actualmente para el mejoramiento en la calidad de vida de las personas.

Con relación al proceso investigativo se derivan diversas conclusiones que permiten argumentar el alcance del estudio y su valor para la ciudad de Manizales:

El escenario actual de la red de Manizales muestra que en general tiene una buena cobertura del sistema de transporte público, ya que las rutas actuales cubren a la ciudad en todo su territorio. Lo anterior planteado se confirma al analizar los resultados obtenidos de accesibilidad global en el escenario actual, donde los mayores tiempos de viaje del área estudiada se ubican en las zona extremo oriente y occidente de la ciudad.

Los resultados de accesibilidad obtenidos en la presente investigación mediante los datos ingresados para los diversos escenarios planteados nos indican que la mejor alternativa se podría decidir de acuerdo al área que se quiere favorecer, en este caso mejorar la movilidad urbana en toda la ciudad de Manizales incluyendo el municipio de Villamaría, se tuvo lo anterior en cuenta al decidir cuál es el mejor escenario, ya que sin esta consideración podría diferirse el mejor escenario para una zona puntual, como son las comunas o un barrio específico.

La comparación realizada de los resultados son una herramienta eficaz para la toma de decisiones basándose en los datos recogidos, los cálculos y los resultados obtenidos, en este caso dando como conclusión principal que de las seis alternativas analizadas, la alternativa propuesta en el escenario cuatro es la más indicada para mejorar la accesibilidad en la ciudad, presentando los mayores beneficios entre porcentaje de cobertura y ahorro de tiempo de viaje, logrando que para una cobertura del 43% de la red se presenten ahorros en los tiempos de viaje entre los pares origen y destino superior al 1%.

Al ser el escenario 4 la mejor alternativa, hay otra que merece gran relevancia por los resultados obtenidos, la alternativa número 6 que representa la mayor accesibilidad integral, con este escenario se genera una conexión entre el sistema de cable aéreo que funciona actualmente y el sistema planteado, conectándose por medio de la estación Los Cámbulos. La conexión entre la estación de Villamaría y los Cámbulos hacen que esta opción sea la alternativa que trae los mayores beneficios en tiempos de viaje para el municipio de Villamaría.

Lo anterior no implica que las otras alternativas no sean viables, todo lo contrario, se puede llevar a cabo más de una alternativa analizada en esta investigación o la unión entre ellas, por ejemplo, la unión entre los escenarios 4 y 6, esta posibilidad podría ser analizada en futuros estudios donde se pueda identificar en que sectores y en general para la ciudad, se tenga un impacto más positivo, como lo indican algunas de las propuestas del POT 2017-2031.

9. Bibliografía

Alcaldía de Manizales. (2017). Plan Maestro de Movilidad de Manizales. Manizales.

Alcaldía de Manizales. (2018). Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Manizales 2017-2031. Manizales: secretaria de planeación.

Añez, J; De La Barra, T; & Pérez. (1996). Dual graph representation of transport networks. *Transportation Research Part B: Methodological*, 30(3PART B), 209–216. [http://doi.org/10.1016/0191-2615\(95\)00024-0](http://doi.org/10.1016/0191-2615(95)00024-0)

Arango, E. G. (s.f.). Banrepcultural. Obtenido de: <http://www.banrepcultural.org/biblioteca-virtual/credencial-historia/numero-158/palomo-aguirre-el-bandido-que-asaltaba-el-cable-mas-largo-del-mundo>

Arcidiacono, C.A.; & Porto, S.M.C. (2010). Model to Manage Crop-Shelter Spatial Development by Multi-Temporal Coverage Analysis and Spatial Indicators. *Biosystems Engineering*, 107(2), pp. 107-122.

Batty, M. (2009). Accessibility: in search of a unified theory, *Environment and Planning B: Planning and Design*, 36, pp. 191-194.

Bertolini, L; Le Clercq, F; Kapoen, L. (2005). Sustainable Accessibility: A Conceptual Framework to Integrate Transport and Land Use Plan-Making. Two Test Applications in the Netherlands and a Reflection on the Way Forward. *Transportpolicy*, 12(3), pp. 207–220.

Burkey, M., Decomposing geographic accessibility into component parts: methods and an application to hospitals. *Annals of Regional science*, 48 (3), pp. 783 – 800 (2012)

Burrough, P. A. (1986) *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. New York: Oxford University Press.

Calcut tawala, Z. (2006). Landscapes of Information and Consumption: A Location Analysis of Public Libraries in Calcutta, in Edward D. Garten, Delmus E. Williams, James M. Nyce (ed.) 24 (*Advances in Library Administration and Organization*, Volume 24), Emerald Group Publishing Limited, pp. 319-388.

Caracol Radio. (27 de Septiembre de 2017). Obtenido de: http://caracol.com.co/emisora/2017/09/27/manizales/1506531063_735376.html

Cea, J; Fernández, J. E; & Soto O.A. (2003). “ESTRAUS: un modelo computacional para la solución de problemas de equilibrio oferta- demanda en redes multimodales de transporte urbano con múltiples clases de usuarios”. *Transportation research B*,37,pp.615-640

DANE. (2016). Obtenido de: http://biblioteca.dane.gov.co/media/libros/LD_10532_EJ_3.PDF)

DANE (2017). Proyección Municipios 2005 - 2020. Obtenido de: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/proyepobla06_20/ProyeccionMunicipios2005_2020.xls.

Dijkstra, E. W. (1959) A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik*, 1(1), 269-271. <https://doi.org/10.1007/BF01386390>

El observatorio de la universidad Colombiana. (2019). Obtenido de: <https://www.universidad.edu.co/estas-son-las-ies-que-mas-estudiantes-tienen-en-el-pais/>)

Escobar, D.A; Cadena, C; & Salas, A. (2015). “Cobertura geoespacial de nodos de actividad primaria. Análisis de los aportes a la sostenibilidad urbana mediante un estudio de accesibilidad territorial”. *Revista EIA*, 12(23), pp. 13-27.

Escobar, D. A; Cardona, S; & Moncada, C.A. (2017). Evolucion del numero de pasajeros movilizados en los sistemas estretgicos de transporte público en Colombia, Analisis cuantitativo, *Revista Espacios*, 38, 11 (2017)

Escobar, D.A; García, F. J; & Cadena, C. (2013). Political determinants and impact analysis of using a cable system as a complement to an urban transport system. *Proceedings of 1st International Conference on Innovation and Sustainability – ICOIS 2013. Redesigning Relationships for Government, Business and Community*. Kuala Lumpur (Malaysia).

Escobar, D.A; García, F. J; & Tolosa, R. (2012). *Diagnóstico de la Movilidad Urbana de Manizales, 1ª Edición*, Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Manizales, Colombia.

Escobar, D.A; García, F. J; & Tolosa, R. (2013). Análisis de accesibilidad territorial a nivel regional. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Manizales.

Escobar, D.A; & Et al. (2015) “Application of a prefeasibility study methodology in the selection of road infrastructure projects: The case of Manizales (Colombia)”. *DYNA*, 82(194), pp. 204-213.

Escobar, D.A; & García, F. J. (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.

Escobar, D.A; & 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”. XVI PANAM, Lisbon, Portugal, July 15-18, 2010.

- Escobar, D. A; & Garcia, F. J. (2012). Diagnostico de la Movilidad Urbana de Manizales. }
- Escobar, D.A; & García, F. J. (2012). Impacto de un Sistema de transporte tipo cable sobre la movilidad urbana. Caso Manizales (Colombia). *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 14(0), 92-98.
- Escobar, D.A; & García, F. J. (2012). Territorial Accessibility Analysis as a Key Variable for Diagnosis of Urban Mobility: A Case Study Manizales (Colombia). *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 48(0), pp. 1385-1394.
- Escobar, D.A; & Younes, C. (2018). A GIS approach based on location to evaluate a bike-sharing program. *DYNA*, 85(204), 257–263.
- Escobar, D.A; Tapasco, O.A; & Giraldo, J.A. (2015). Medición de Desempeño del Sistema de Transporte Cable Aéreo de la Ciudad de Manizales en Colombia, usando Tres Enfoques: Analítico, Simulado y de Accesibilidad Urbana, doi: 10.4067/S0718-07642015000600020. *Inf. Tecnol.* 26(6), 199-210.
- Escobar, D. A; Zuluaga, J.D; & Younes, C. (2018). A GIS approach base don user location to evaluate a bike-sharing program. *DYNA* 85(204), 257-263. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n204.67670>
- FENALCO. (OCTUBRE de 2018). Obtenido de: <http://www.fenalco.com.co/content/informe-del-sector-automotor-octubre-de-2018>
- Fredman, M. L; & Tarjan, R. E. (1987). Fibonacci heaps and their uses in improved netwoek optimization slgorithms. *Journal of the ACM*, 34(3), 596-615 (1987). <https://doi.org/10.1145/28869.28874>.
- INVIAS (2011) Cartilla de volúmenes vehiculares
- Gómez, A. (2005): El estado del arte en la modelación de problemas de tránsito. Tesis doctoral, Universidad de Colombia.
- Gutierrez, J. (1998). Redes, espacio y tiempo. *Anales de geografía de la Universidad Complutense*, [online] 18, pp. 65-86, 1998. [date of reference May 9th of 2012]. Available at: <http://revistas.ucm.es/index.php/AGUC/article/viewFile/AGUC9898110065A/31393>
- Heine, G. W. (1986) Controlled Study of Some Two-Dimensional Interpolation Methods." *COGS Computer Contributions* 3 (no. 2): 60–72.
- Herce, M; & Magrinya, F. (2002). *La ingeniería en la evolución de la urbanística*. Barcelona. Ediciones UPC.
- Hernández. D. (2012) Activos y estructuras de oportunidades de movilidad. Una propuesta analítica para el estudio de la accesibilidad por transporte público, el bienestar y le equidad.
- Hernández, J; Rodríguez, M.; Rodríguez, N; Santos, R.; Morales, E.; Cruz, C.; & Sepúlveda, J. (2002). Cobertura geográfica del sistema mexicano de salud y análisis espacial de la utilización de hospitales generales de la Secretaría de salud en 1998. *Salud pública de México*, 44 (6), pp. 519-532.

Higgs, G., Langford, M; Fry, R. (2013). Investigating variations in the provision of digital services in public libraries using network-based GIS models, doi:10.1016/j.lisr.2012.09.002, *Library & Information Science Research*,35 (1), 24-32.

Hidalgo, M. (2007). *Introducción a la teoría de modelos hidráulicos y aplicaciones básicas*. Quito: Departamento de Hidráulica de la escuela Politécnica Nacional.

Huiping-Li.; Qiming-Zhou. (2010). Developing Urban Growth Predictions from Spatial Indicators Based on Multi-Temporal Images. *Computers, Environment and Urban Systems*, 29, pp. 580-594.

Izquierdo, Rafael. (1994). *Transportes: un enfoque integral*. España: CICCIP.

Johnson, D. B; A Note on Dijkstra's Shortest Path Algorithm. *Journal of the ACM*, 20(3), 385-388(1973). <https://doi.org/10.1145/321765.321768>.

Jones, P. (2011). Developing and applying interactive visual tools to enhance stakeholder engagement in accessibility planning for mobility disadvantaged groups, doi:10.1016/j.rtbm.2011.08.001, *Transportation Business & Management*, 2, 29-41.

Jones, S. (1981). *Accesibility Measures: A Literature Review*. TRRL Report 967, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire.

Kotavaara, O; Antikainen, H.; Rusanen, J. (2011). Population Change and Accessibility by Road and Rail Networks: GIS and Statistical Approach to Finland 1970–2007, *Journal of Transport Geography*, 19(4), pp. 926-935.

Kotavaara, O; Antikainen, H, & Rusanen, J. (2011). Population change and accessibility by road and rail networks: GIS and statistical approach to Finland 1970–2007, doi:10.1016/j.jtrangeo.2010.10.013 *Journal of Transport Geography*, 19 (4), 926-935.

Layton,J.C.(2018). LAPATRIA.COM. Obtenido de: <http://www.lapatria.com/economia/arranco-el-tercer-pico-y-placa-en-un-ano-en-manizales> 4 20726

La Patria (2013) obtenido de <https://www.lapatria.com/manizales/la-patria-se-toma-la-enea-28171>

La patria (2018) obtenido de <https://www.lapatria.com/deportes/el-bosque-popular-en-manizales-lleno-de-opciones-y-vienen-mas-427412>

LAPATRIA.COM. (04 de Octubre de 2018). Obtenido de: <http://www.lapatria.com/manizales/desmonte-cable-aereo-los-yarumos-bajan-gondolas-424338>

López, E; Gutiérrez, J; & Gómez, G. (2008). Measuring Regional Cohesion Effects of Large-Scale Transport Infrastructure Investment: An Accessibility Approach, *European Planning Studies*, 16(2), pp. 277–301.

- Lotero, L; & Jaramillo, P. (2010): Modelo matemático para la asignación de tráfico al sistema de transporte urbano aplicado al valle de Aburrá. Tesis doctoral, Universidad de Colombia.
- Loyola, C; & 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.
- Litman, T. (2007). Developing Indicators for Comprehensive and Sustainable Transport Planning. *Transportation Research Record*, 2017(1), pp. 10–15.
- Manizales, A. d. (s.f.). Cable Aéreo de Manizales. Obtenido de:
<https://cableaereomanizales.gov.co/#1495820619259-b389711e-a457>
- Martellano, D; Nijkamp, P; & Reggiani, A. (1995). Measurement and Measures of Net work Accessibilit y. TI 5-95-207, Tinbergen Institute, Amsterdam.
- McBratney, A. B; & Webster, R. (1986). "Choosing Functions for Semi-variograms of Soil Properties and Fitting Them to Sampling Estimates." *Journal of Soil Science* 37: 617–639.
- Miralles-Guasch, C. (2002), Ciudad y transporte: el binomio imperfecto, Ariel, Barcelona.
- Miralles-Guasch, C; & Cebollada, A. (2003). Movilidad y transporte. Opciones políticas para la ciudad. Madrid. Fundación Alternativas.
- Miravete A; & Larrodé, E. (2004). “Transportadores y elevadores” Universidad de Zaragoza.
- MIO (2019) obtenido de <http://www.mio.com.co/index.php/miocable.html>
- Metro de Medellín (Diciembre 17 de 2016) obtenido de <https://www.metrodemedellin.gov.co/>
- Molina, C. (2006) “Movilidad urbana sostenible un reto para las ciudades del siglo XXI”
- Molinero. R.A, Sánchez. L.I (2005) “Transporte público: Planeación, diseño, operación y administración
- Morris, J.M; Dumble, P.L; & Wigan, M.R. (1979). “Accessibility indicators in transport planning”, in: *Transportation Research*, 13, 91-109.
- Möhring, R. H; Schilling, H; Schütz, B; Wagner, D; & Willhalm, T. (2007) Partitioning graphs to speedup Dijkstra’s algorithm. *Journal of Experimental Algorithmics*, 11(2), 2.8. <https://doi.org/10.1145/1187436.1216585>
- Muñoz, J. C; Batarce, M; & Torres, Y. (2016). Comparación del nivel de servicio del transporte público de seis ciudades latinoamericanas. *Ingeniería de Transporte*. Santiago de Chile.
- NACOT’S. (2013). Urban Street Design Guide.
- Nuestra Alcaldía Pereira (2017) obtenido de <http://www.pereira.gov.co/NuestraAlcaldia/SaladePrensa/Paginas/JUAN-PABLO-GALLO-PRESENT%C3%93-EL-PROYECTO--DEL-CABLE-A%C3%89REO.aspx>

Oliver, M. A. (1990) "Kriging: A Method of Interpolation for Geographical Information Systems." *International Journal of Geographic Information Systems* 4: 313–332.

Orche, E; & Orche, P. (2016). “Teleféricos mineros, un patrimonio olvidado: desde sus orígenes hasta finales del siglo XIX”.

Ortuzar, J; & Willumsen L. (1994). *Modelling transport*. Chichester: John Wiley and sons

Ortuzar, J; & Willumsen, L. (2008): *Modelos de transporte*, Santander, PubliCan, Ed. Universidad de Cantabria.

Pardo, C. (2005). *Salida de Emergencia: Reflexiones Sociales sobre las Políticas del Transporte*. *Universitas Psychologica*, 4(3), pp. 271–284.

Perilla, D. J; Escobar, D.A. y Cardona, S. (2018) *New transportation Infrastructure Impact in Terms of Global Average Access - Intersection “La Carola” Manizales (Colombia) Case Study*. *Contemporary Engineering Sciences*, 11(5), 215-227
<https://doi.org/10.12988/ces.2018.812>

Petrus, B; & Seguí, P. (1992). *Geografía de Redes y Sistemas de Transporte*. España: Editorial Síntesis.

Pirie, G. (1979). *Measuring accesibility: a review and proposal*. *Environment and Planning A*, 11, pp.299-312.

Press, W. H; Teukolsky, S. A; Vetterling, W.T; & Flannery, P.B. (1988). *Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing*. New York: Cambridge University Press.

Royle, A. G; Clausen, F.L; & Frederiksen, P. (1981) "Practical Universal Kriging and Automatic Contouring." *Geoprocessing* 1: 377–394.

Secretaria de Planeación (2016) obtenido de <http://geodata-manizales-sigalcmzl.opendata.arcgis.com/datasets/rutas-servicio-publico?geometry=-75.719%2C4.984%2C-75.255%2C5.103&selectedAttribute=MODE>

UITP. (2003). *Ticket to the Future: 3 Stops to Sustainable Mobility*, UITP, Bruselas

Transmilenio (2018) obtenido de <https://www.transmilenio.gov.co/publicaciones/151067/abece-de-transmicable/>

Unidad coordinadora calidad de vida (2019) “Informe de calidad de vida Manizales 2019” http://manizalescomovamos.org/wpcontent/uploads/2019/09/Calidad_de_vida_2019_compressed.pdf

Vukan, R. V. (1981). “Urban Public Transportation: System and Technology Englewood Cliffs: Prentice Hall Inc,”

Wang, D; Brown, G; & Mateo-Babiano, I. (2013). *Beyond Proximity: An integrated model of Accessibility for Public Parks*. *Asian Journal of Social Sciences & Humanities*, 2(3), pp. 486-498.

Yiannakoulias, N; Bland, W; & Svenson, L. W. (2013). Estimating the effect of turn penalties and traffic congestion on measuring spatial accessibility to primary health care. *Applied Geography*, 39, 172–182. <https://doi.org/10.1016/J.APGEOG.2012.12.003>

Zhu-Xuang; Liu-Susia (2004). Analysis of the Impact of the MRT System on Accessibility in Singapore Using an Integrated GIS Tool. *Journal of Transport Geography*, 4(12), pp. 89-101.