

Análisis del desempeño operativo de los flujos vehiculares y niveles de servicios en el intercambiador vial mesón de los búcaros en la ciudad de Bucaramanga, a partir de la proyección realizada para su construcción.

Juan Sebastián Perez Rincon y Wilmar Alexander Martínez Marín

Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Civil

Director:

Wilfredo del Toro Rodríguez

M.Sc. en Ingeniería Civil

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2020

Dedicatoria

Doy gracias a Dios por la fuerza y la sabiduría para alcanzar este logro en mi vida.

A mi mamá Leonor Rincón que siempre me brindo su apoyo incondicional durante este proceso

Siendo mi motor permanente, animándome a seguir todas las veces que necesite.

*A mi hija Ana Lucia que fue sin duda mi mayor motivación día a día siendo mi mayor alegría
Durante este proceso y que amo con todo mi corazón y espero también verla alcanzar sus metas.*

*A mis compañeros y amigos con los que he compartido esta etapa, gracias por los momentos
Compartidos y las enseñanzas aprendidas.*

Juan Sebastián Pérez Rincón

Contenido

	Pág.
Introducción	12
1. Estado del arte de la concepción e implementación del intercambiado vial mesón de los búcaros	14
1.1 Establecimiento de problemáticas.....	14
1.2 Antecedentes históricos.	15
1.3 Estudios realizados en el sector carrera 27 con avenida quebrada seca previos a la construcción del intercambiador.	21
1.3.1 Proyecciones de tránsito.	21
1.3.2 Estudio de tránsito.....	22
1.4 Alternativas de solución año 2010.....	26
2. Caracterización de la zona en estudio.....	30
2.1 Localización del proyecto.....	30
2.2 Zona de influencia.....	31
2.3 Caracterización de la malla vial.....	32
2.4 Levantamiento de la información primaria.....	33
2.4.1 Perfiles viales.....	34
2.4.2 Estado del pavimento.....	35
2.4.3 Señalización vertical.....	37

2.4.4 Señalización horizontal.....	39
2.5 Semáforos.	40
2.6 Volúmenes vehiculares.	41
3. Análisis de la situación actual.....	44
3.1 Creación y configuración del modelo de micro simulación.	44
3.2 Calibración y validación del modelo.	45
3.3 Resultados de la situación actual.	47
4. Comparación y análisis de resultados basados en los escenarios temporales (2009-2019).....	48
4.1 Comparación de tránsito.	48
4.2 Comparación Velocidades.	50
4.3 Comparación Niveles de Servicio.....	51
5. Propuestas de solución y recomendaciones para el mejoramiento del intercambiador.	53
5.1 Alternativa 1.....	53
5.2 Alternativa 2.....	56
6. Conclusiones.....	58
Referencias Bibliográficas.....	61

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Localización del corredor de la carrera 27	20
Figura 2. Zona de influencia Mesón de los Búcaros.....	20
Figura 3. Crecimiento del Parque Automotor.....	21
Figura 4. Movimientos intersección carrera 27 por avenida Quebrada Seca	22
Figura 5. Composición vehicular en la intersección de la carrera 27 por avenida Quebrada Seca.....	24
Figura 6. Esquema desagregado por movimientos	26
Figura 7. Metodología aplicada	28
Figura 8. Alternativa de glorieta con pasos deprimidos.	29
Figura 9. Ubicación intercambiador vial mesón de los búcaros	31
Figura 10. Áreas de actividad zona de influencia.	32
Figura 11. Jerarquía vial de la zona de estudio.....	33
Figura 12. Perfiles normativos de la zona de influencia.....	34
Figura 13. Cumplimiento de los Perfiles Viales	35
Figura 14. Distribución del estado físico de los andenes según su material.....	36
Figura 15. Daños de pavimento en la zona de estudio.....	36
Figura 16. Ubicación de la señalización vertical	39
Figura 17. Ubicación de la señalización horizontal	40

Figura 18. Nomenclatura para los movimientos vehiculares en una intersección.....	42
Figura 19. Factores de equivalencia vehicular.....	42
Figura 20. Distribución horaria de los flujos vehiculares en la glorieta.....	43
Figura 21. Distribución modal en el sector para la hora pico.....	43
Figura 22. Red vial de centroides.....	45
Figura 23. Semáforo alternativa 1.....	54
Figura 24. Semáforos dosificadores alternativa 2.....	56

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Mediciones área Metropolitana de Bucaramanga.....	17
Tabla 2. Velocidades promedio del transporte público.	17
Tabla 3. Cronograma del proyecto SITM para el área Metropolitana de Bucaramanga.	18
Tabla 4. Cronograma ajustado para la ejecución del proyecto SITM para el área Metropolitana de Bucaramanga.....	19
Tabla 5. Periodos de máxima demanda	24
Tabla 6. Velocidades en automóvil.....	25
Tabla 7. Velocidades en transporte público.....	25
Tabla 8. Estado Señalización Vertical	37
Tabla 9. Fases y Tiempos Semafóricos.....	41
Tabla 10. Resultados de la calibración	46
Tabla 11. Resultados de la situación actual	47
Tabla 12. Niveles de Servicio	48
Tabla 13. Comparación parque automotor proyectado vs parque automotor real Bucaramanga año 2015.....	49
Tabla 14. Comparación parque automotor proyectado vs parque automotor real Bucaramanga año 2018.....	50
Tabla 15. Comparación de Velocidades	51

Tabla 16. Comparación de Niveles de Servicio.....	52
Tabla 17. Configuración Semáforo cra 24.....	54
Tabla 18. Resultados Alternativa 1.....	54
Tabla 19. Niveles de Servicio Alternativa 1.....	55
Tabla 20. Resultados de la alternativa 2.....	57
Tabla 21. Niveles de Servicio Alternativa 2.....	57

Lista de Apéndices

Ver documentos adjuntos en el CD y pueden ser visualizados en la base de datos de la Biblioteca
UIS

Apéndice A. Revisión Bibliografica

Apéndice B. Perfiles Viales

Apéndice C. Estado de Pavimentos

Apéndice D. Fases Semaforicas

Apéndice E. Aforo Hora Pico

Apéndice F. Aforo Intersecciones

Apéndice I. Matriz Origen Destino

Apéndice J. Niveles de Servicio

Apéndice K. Fase Semaforica Alternativa I

Resumen

Titulo. Análisis del desempeño operativo de los flujos vehiculares y niveles de servicios en el intercambiador vial mesón de los búcaros en la ciudad de Bucaramanga, a partir de la proyección realizada para su construcción.*

Autor: Juan Sebastián Perez Rincon, Wilmar Alexander Martínez Marín **

Palabras Clave: Niveles de servicio, Flujos vehiculares, Ramp Metering

Descripción

El notable crecimiento de la población mundial y el parque automotor como consecuencia de este fenómeno en los centros urbanos o grandes ciudades, ocasionalmente es el origen de las problemáticas de movilidad que se viven a diario en dichos lugares, conllevando a la necesidad de estudiar estas problemáticas, para poder brindar alternativas de solución con el fin de generar obras de infraestructura vial que satisfagan o puedan mitigar la demanda de movilidad generada, por lo cual, su vida útil y estándares de construcción deben ser calculados teniendo en cuenta principalmente dichas variables. La presente investigación aborda el estudio de los niveles de servicio y flujos vehiculares del intercambiador vial Mesón de los Búcaros en la ciudad de Bucaramanga, con el fin de determinar si estos dos factores son los óptimos para la demanda actual y si las proyecciones realizadas para su construcción fueron las adecuadas en el momento de su concepción. Se realizó un diagnóstico del intercambiador identificando sus principales deficiencias y caracterizando el estado y comportamiento de la movilidad de su zona de influencia, velocidades y niveles de servicio. Finalmente se identificaron alternativas de solución enfocadas en la semaforización y los sistemas de Ramp Metering, los cuales buscan mitigar las problemáticas encontradas.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas Escuela de Ingeniería Civil Director: Wilfredo Del Toro Rodríguez M. Sc. En Ingeniería Civil

Abstract

Title. Analysis of the operational performance of vehicular flows and levels of services in the mesón de los bucaros road interchange in the city of Bucaramanga, based on the projection made for its construction.*

Author: Juan Sebastián Perez Rincon, Wilmar Alexander Martínez Marín **

Keywords: Service level, Vehicle flows, Ramp Metering

Description

The notable growth of the world population and the automobile fleet as a consequence of this phenomenon in urban centers or large cities is occasionally the origin of the mobility problems that are experienced daily in these places, leading to the need to study these problems, in order to provide alternative solutions in order to generate road infrastructure works that satisfy or can mitigate the demand for mobility generated, therefore, its useful life and construction standards must be calculated mainly taking into account these variables. This research addresses the study of service levels and vehicular flows of the Mesón de los Búcaros road interchange in the city of Bucaramanga, in order to determine if these two factors are optimal for current demand and if the projections made for its construction were adequate at the time of conception. A diagnosis of the interchange was carried out, identifying its main deficiencies and characterizing the state and behavior of mobility in its area of influence, speeds and service levels. Finally, alternative solutions focused on traffic lights and Ramp Metering systems were identified, which seek to mitigate the problems encountered.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas Escuela de Ingeniería Civil Director: Wilfredo Del Toro Rodríguez M. Sc. En ingeniería Civil.

Introducción

Según las Naciones Unidas actualmente el 55% de la población mundial se localiza en las zonas urbanas y para el 2050, se espera que esta cifra aumente a un 68% (Organización de las Naciones Unidas, 2018). Colombia es un país en desarrollo con una población al año 2019 de 48'258.494 habitantes según datos proporcionados por Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE (DANE, s.f.), lo cual representa un gran reto para asegurar los desplazamientos de las personas en las ciudades. Adicionalmente debe considerarse que el sector del transporte es fundamental para el desarrollo de muchos sectores económicos, además de ser indicador de la calidad de vida que perciben los habitantes (Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo, 2016).

Bucaramanga, una de las ciudades comerciales de Colombia, no es ajena a este fenómeno, por lo que se encuentra desarrollando estrategias que buscan solucionar las problemáticas como el incremento del parque automotor, el mal estado de la infraestructura vial y la poca cultura vial de los conductores. En el año 2010, se hizo evidente la necesidad del municipio de Bucaramanga de dar solución a las problemáticas de movilidad vehicular que presentaban en la ciudad (El país, 2019), por lo que se adelantaron diferentes estudios de movilidad con el fin de caracterizar el estado del tráfico en los corredores más importantes. Dichos estudios fueron una herramienta para la Alcaldía de Bucaramanga, ya que se identificaron puntos críticos de la ciudad, entre los cuales se consideró la intersección vial avenida Quebrada Seca con carrera 27 (Decreto 0189, 2010).

Habiendo definido como prioritaria la intervención de la intersección vial avenida Quebrada Seca con carrera 27, se propuso la construcción del intercambiador vial Mesón de los

Búcaros, el cual fue puesto en total funcionamiento en el año 2019. Una vez puesto en funcionamiento este intercambiador, se evidenciaron nuevamente problemáticas de movilidad como largas colas y demoras significativas, razón por la cual el presente proyecto evalúa la funcionalidad del intercambiador, estudiando las condiciones previas a la implementación de la infraestructura, contrastándolas con las proyecciones de movilidad realizadas y la situación actual con el proyecto en funcionamiento.

El intercambiador vial Mesón de los Búcaros ubicado en la carrera 27 con avenida Quebrada Seca, será evaluado en función a las velocidades, demoras, colas, niveles de servicio e infraestructura vial, determinando si el diseño ejecutado es óptimo y su estado de servicio cumple según las proyecciones de movilidad realizadas.

Se plantea modelar el estado actual de movilidad, en términos de infraestructura vial y señalización de la glorieta, mediante un modelo de micro simulación con el fin de analizar el estado actual de operación y servicio, además de realizar un análisis comparativo de los escenarios en el tiempo, para verificar si la solución propuesta satisface las necesidades actuales y resolvió las problemáticas iniciales.

1. Estado del arte de la concepción e implementación del intercambiado vial mesón de los búcaros

1.1 Establecimiento de problemáticas.

Inconvenientes recurrentes en Bucaramanga como el incremento del parque automotor del área metropolitana, en conjunto con la deficiente señalización y mantenimiento de la malla vial, se vieron acentuados para el año 2010, provocando que el municipio de Bucaramanga presentara deficiencias en su movilidad vehicular (Financiera de Desarrollo Territorial FINDETER, 2013). Sumado a esto, Bucaramanga es el objeto de gran número de viajes por parte de los habitantes de los municipios aledaños, los cuales se desplazan a realizar sus actividades diarias a la ciudad. De igual forma se ha evidenciado con el pasar de los años un aumento significativo en el parque automotor del área metropolitana. “En el año 2010 se registraban 359.760 vehículos matriculados” (El país, 2019), este incremento se vio reflejando en la intersección vial de la avenida Quebrada Seca con carrera 27 convirtiéndola en un punto crítico de la ciudad, por lo cual se buscó mejorar su capacidad operativa mediante la construcción de un intercambiador (Decreto 0189, 2010).

Según la Alcaldía de Bucaramanga, se consideró que dicha intersección “hace parte de los puntos vitales más estratégicos de la ciudad por el número de vehículos en horas pico que pasan por este sector, el número de cruces existentes y las proyecciones de crecimiento vehicular” (Decreto 0189, 2010), esta intersección ya venía siendo estudiada para su intervención por parte de Metrolínea debido a la necesidad de acondicionar la infraestructura vial para el correcto

funcionamiento del sistema. Lo anterior generó la necesidad de implementar una medida que resolviera los conflictos evidenciados, por lo cual, se buscó dar solución mediante la construcción de un intercambiador. Actualmente dicho intercambiador ya se encuentra en funcionamiento, pero las problemáticas de movilidad se siguen presentando, según los ciudadanos no se percibe una mejora en los tiempos de desplazamiento entre trayectos y el congestionamiento vehicular en horas pico continúa disminuyendo las velocidades de flujo (El Frente, 2016).

Las problemáticas mencionadas permiten prever que las proyecciones realizadas para la construcción de este intercambiador no satisfacen el desempeño operativo y niveles de servicio vehiculares requeridos para un óptimo funcionamiento en la actualidad e inclusive puede pensarse que su desempeño se verá afectado en los próximos años.

1.2 Antecedentes históricos.

En el año 1997 se presenta la Ley 388, estableciendo políticas para la creación de estrategias territoriales de uso, ocupación y manejo del suelo, adoptando medidas y procedimientos de gestión para la creación de programas integrales que permitan articular la infraestructura de las ciudades; (Ley 388, 1997) lo anteriormente mencionado abrió el camino para que en Bucaramanga se presentara el Plan de Desarrollo Metropolitano de Bucaramanga en el año 2000, en este plan se establecen las debilidades en términos de vías, transporte y movilidad de Bucaramanga, entre las cuales se encontraban:

- La deficiente señalización metropolitana y urbana.
- La carencia de pasos a desnivel (intersecciones).
- Ineficiencia y discontinuidad de la red vial.

- Ritmo alto de crecimiento de la demanda sobre la red vial.
- Transporte desorganizado y poco eficiente.

El plan buscaba desarrollar un sistema de movilidad eficiente, sostenible y confiable, que optimizara la movilización (Cote Peña, 2000).

Teniendo en mente que el establecimiento de un sistema de transporte urbano eficiente y mejoras en infraestructura vial eran necesarias para mitigar las deficiencias de movilidad vial en Bucaramanga, en el año 2002 el rumbo a seguir se establece por medio de la política para mejorar el servicio de transporte público urbano (CONPES 3167) documento en el cual se establecen las directrices a nivel nacional orientadas a mejorar el servicio de transporte público urbano de pasajeros y la infraestructura necesaria para la puesta en marcha de este; por lo que se establece la viabilidad de implantar un sistema de buses integrado en algunas ciudades incluida el área metropolitana de Bucaramanga (Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2020). Dentro del CONPES 3167 también se encuentran algunos datos que permiten tener una apreciación o referencia del crecimiento poblacional de Bucaramanga en la época en que se implementó Metrolínea, como las mediciones de la población en ciudades colombianas (proyección 2001) Tabla 1 y velocidades promedio de transporte público en los principales corredores de Bucaramanga Tabla 2.

Tabla 1.*Mediciones área Metropolitana de Bucaramanga*

	Ciudad	Población Total
Área Metropolitana de Bucaramanga	Bucaramanga	539.805
	Floridablanca	238.602
	Girón	108.338
	Piedecuesta	96.073

Nota. Tomado de: Conpes 3167

Tabla 2.*Velocidades promedio del transporte público.*

Ciudad	Corredor	Velocidad media en km/h
Bucaramanga	Diagonal 15	15.9
	Carrera 27	10.8
	Carrera 33	11.6

Nota. Tomado de: Conpes 3167

Para el año 2004 siguiendo las directrices del CONPES 3167 se presenta el CONPES 3298 en el cual se describe la implementación del Sistema integrado del servicio público urbano de transporte masivo de pasajeros del área metropolitana de Bucaramanga. En el CONPES 3298 se identificó la ineficiencia y condiciones precarias de seguridad y confiabilidad del sistema integrado del servicio público urbano de transporte masivo de pasajeros del área Metropolitana de Bucaramanga, lo cual generaba una deficiencia competitiva en términos de movilidad para la ciudad y la calidad de vida de los habitantes. El diseño del nuevo sistema se basa en los conceptos

de operación aplicados en Transmilenio de Bogotá, adaptado al área metropolitana de Bucaramanga, el cual requería la intervención y generación de nuevas obras de infraestructura vial para la correcta operación del sistema, por lo que se estableció un cronograma para la puesta en marcha del proyecto en el cual se contemplan las actividades descritas en la tabla 3 (Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2004).

Tabla 3.

Cronograma del proyecto SITM para el área Metropolitana de Bucaramanga.

Aprobación del proyecto y de su financiación	3er Trimestre 2004
Diseños Definitivos de Infraestructura	1er trimestre 2005
Suscripción de convenio Nación-Municipios-Metrolínea para desarrollo del SITP(Sistema Integrado de Transporte Publico)	2do trimestre 2005
Preparación contratos de operación y recaudo	2do trimestre 2005
Inicio construcción de Infraestructura	3er trimestre 2005
Inicio de Operación Fase 1	1er trimestre 2006
Inicio de Operación Fase 2	4to trimestre 2007

Nota. Tomado de: Conpes 3298

En el 2005, en el CONPES 3370 se expone el seguimiento del sistema integrado del servicio público urbano de transporte masivo de pasajeros del área Metropolitana de Bucaramanga, de acuerdo con el avance desde la aprobación del CONPES 3298 del 26 de julio de 2004 hasta la fecha, se hace necesaria la reprogramación de algunas de las actividades como se describe en la tabla 4.

Tabla 4.

Cronograma ajustado para la ejecución del proyecto SITM para el área Metropolitana de Bucaramanga.

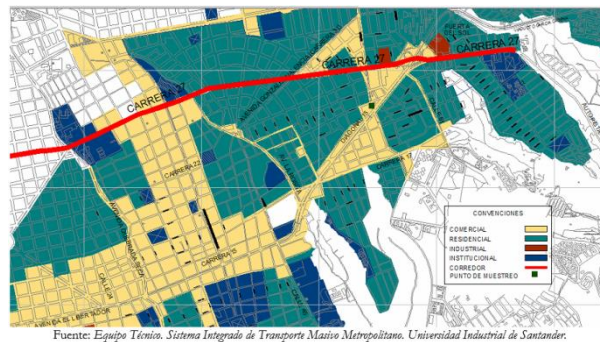
Actividad	Fecha
Suscripción de Convenio de Cofinanciación Escenario Base	Tercer trimestre de 2005
Apertura de primera licitación de obra del proyecto	Tercer trimestre de 2005
Apertura de licitaciones de operación y recaudo	Primer trimestre de 2006
Inicio de Operación Escenario Base	Primer trimestre de 2007

Nota. Tomado de: Conpes 3370

Dentro del seguimiento se estudian posibles inversiones que se consideraron dentro del marco del desarrollo del proyecto SITM como la construcción, ampliación, mejoramiento y mantenimiento de las intersecciones a nivel y a desnivel, vehiculares y peatonales (puentes, pasos deprimidos, túneles, box coulvert, viaductos y otras estructuras) que se requieran para el óptimo funcionamiento del Sistema (Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2005). En miras de mejorar la infraestructura vial como se planteó anteriormente, en julio de 2007 se inician los estudios de tránsito para la construcción del intercambiador Mesón de los Búcaros sobre la carrera 27 con avenida Quebrada, puesto que la Carrera 27 se consideró como vía arteria que maneja tránsito de paso, permitiendo la comunicación entre el sur y el norte de la ciudad (Perez Amaya, 2007).

Figura 1.

Localización del corredor de la carrera 27



Nota. Tomado de: Estudio de tránsito para la construcción del intercambiador (Perez Amaya, 2007).

El estudio consistió en revisar estudios previos de la zona de influencia del proyecto, con el fin de evaluar y recomendar la mejor alternativa tal que diera solución a las problemáticas de movilidad del sector (Perez Amaya, 2007).

Figura 2.

Zona de influencia Mesón de los Búcaros



Nota. Tomado de: Estudio de tránsito para la construcción del intercambiador (Perez Amaya, 2007).

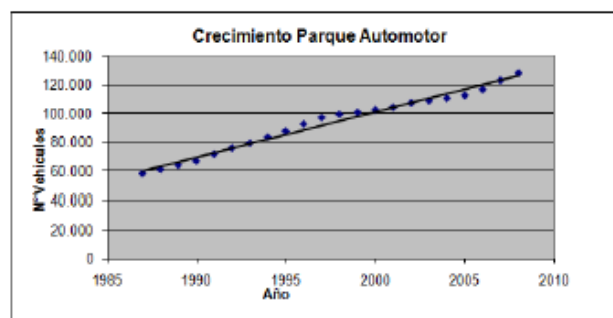
1.3 Estudios realizados en el sector carrera 27 con avenida quebrada seca previos a la construcción del intercambiador.

1.3.1 Proyecciones de tránsito.

El tránsito fue definido con la toma de información de campo, la cual definió el nivel de demanda base. Para el año 2010 el crecimiento anual del tránsito se estimó en 0,96 % anual de acuerdo con el crecimiento poblacional; sin embargo, según las estadísticas de crecimiento del parque automotor para el 2010 se tiene una tasa del 3.82%, en la figura 4 se muestra el crecimiento vehicular de años anteriores hasta el 2010 (Universidad Industrial de Santander, 2010).

Figura 3.

Crecimiento del Parque Automotor



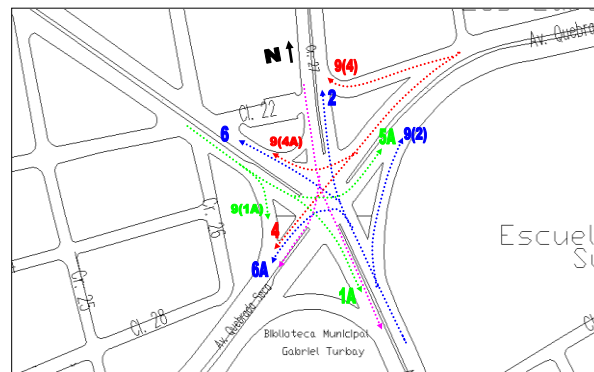
Nota. Tomado de: Contrato Interadministrativo CI-INF N°099/2009 (Universidad Industrial de Santander, 2010).

1.3.2 Estudio de tránsito

En el marco del proyecto de transporte integrado Metrolínea se desarrollaron obras de infraestructura necesarias para el correcto funcionamiento del sistema, por lo que se establecieron puntos neurálgicos que debían ser adecuados a las necesidades operacionales del momento. En el estudio de tránsito se buscó determinar las condiciones de operación de la zona estudiada, se adelantaron aforos vehiculares y se estudiaron los movimientos de los flujos vehiculares en la intersección como se detalla en la figura 5 (Perez Amaya, 2007).

Figura 4.

Movimientos intersección carrera 27 por avenida Quebrada Seca



Nota. Tomado de: Estudio de tránsito para la construcción del intercambiador (Perez Amaya, 2007)

Como resultado del estudio de campo se presentó información de los flujos vehiculares observados en los periodos de máxima demanda para la intersección como se resumen en la tabla 5, el registro de la información para la hora pico de la mañana, de 07:30 a 08:30 horas, la hora pico del medio día de 11:15 a 12:15 horas y la hora pico de tarde 17:30 a las 18:30 horas.

Tabla 5.

Periodos de máxima demanda

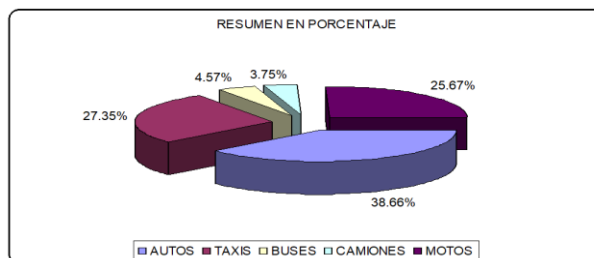
HORA PICO	AUTOS	TAXIS	BUSES	CAMIONES	MOTOS	TOTAL MIXTOS
7:30 a.m.	2380	1487	281	160	1410	5718
8:30 a.m.						

HORA PICO	AUTOS	TAXIS	BUSES	CAMIONES	MOTOS	TOTAL MIXTOS
11:30 a.m.	2350	1533	220	151	1579	5833
12:30 p.m.						

HORA PICO	AUTOS	TAXIS	BUSES	CAMIONES	MOTOS	TOTAL MIXTOS
17:30 p.m.	2529	1604	210	156	1700	6199
18:30 p.m.						

Nota. Tomado de: Estudio de tránsito para la construcción del intercambiador (Perez Amaya, 2007).

Se encontró que la hora de máxima demanda en la intersección se encuentra entre “las 17:30 a 18:30 horas”, con 6.199 vehículos/hora, con una distribución vehicular de 66,01% de automóviles, 4,57% de Buses, 3,75% de camiones y 25,67% de motos, como se muestra en la figura 6 (Perez Amaya, 2007).

Figura 5.*Composición vehicular en la intersección de la carrera 27 por avenida Quebrada Seca*

Nota. Tomado de: Estudio de tránsito para la construcción del intercambiador (Perez Amaya, 2007).

Se calcularon las velocidades promedio para automóviles y buses en el corredor de la Carrera 27, los resultados de este estudio se observan en la tabla 6 (Perez Amaya, 2007).

Tabla 6.

Velocidades en automóvil

Periodo	Via	De	A	Velocidad promedio
Mañana	Carrera 27	UIS	Quebradaseca	17 km/h
	Carrera 27	Quebradaseca	UIS	21 km/h
Tarde	Carrera 27	UIS	Quebradaseca	25 km/h
	Carrera 27	Quebradaseca	UIS	24 km/h
Noche	Carrera 27	UIS	Quebradaseca	20 km/h
	Carrera 27	Quebradaseca	UIS	22 km/h

Nota. Tomado de: Estudio de tránsito para la construcción del intercambiador (Perez Amaya, 2007).

Tabla 7.

Velocidades en transporte público

Periodo	Via	De	A	Velocidad promedio
Mañana	Carrera 27	UIS	Quebradaseca	12 km/h
	Carrera 27	Quebradaseca	UIS	18 km/h
Tarde	Carrera 27	UIS	Quebradaseca	14 km/h
	Carrera 27	Quebradaseca	UIS	14 km/h
Noche	Carrera 27	UIS	Quebradaseca	14 km/h
	Carrera 27	Quebradaseca	UIS	15 km/h

Nota. Tomado de: Estudio de tránsito para la construcción del intercambiador (Perez Amaya, 2007)

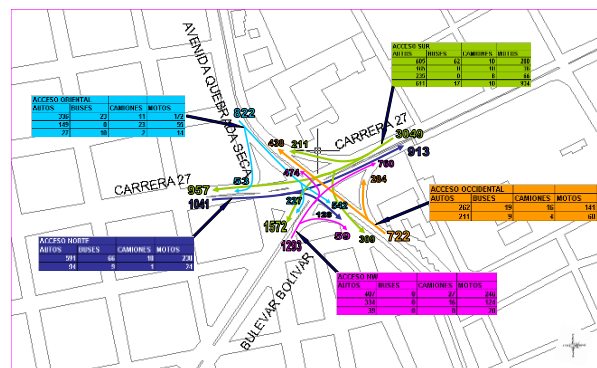
Las velocidades en la carrera 27, en el tramo estudiado están en el orden de los 22 km/h, en los periodos picos del día, a causa de la operación desordenada del transporte público la cual ocasiona que se generen unas mayores colas y demoras en los cinco accesos de la intersección.

Las velocidades del transporte público en el tramo estudiado tienen un comportamiento similar en los tres periodos picos del día estando en promedio en 15 km/hora.

La intersección estudiada opera con cuatro fases semafóricas que tiene un ciclo de 120 segundos, adicional a esto se estudiaron los flujos y volúmenes vehiculares por movimiento como se presenta en la figura 7, esta información se describe con mayor detalle en el anexo A (Perez Amaya, 2007).

Figura 6.

Esquema desagregado por movimientos



Nota. Tomado de: Estudio de tránsito para la construcción del intercambiador (Perez Amaya, 2007).

1.4 Alternativas de solución año 2010

Se plantearon nueve alternativas las cuales buscaban dar solución a las problemáticas de movilidad en la intersección entre la carrera 27 y la avenida Quebrada Seca y a todos los giros posibles, para la selección de dichas alternativas se planteó una metodología como se indica en la siguiente imagen.

Figura 7.*Metodología aplicada*

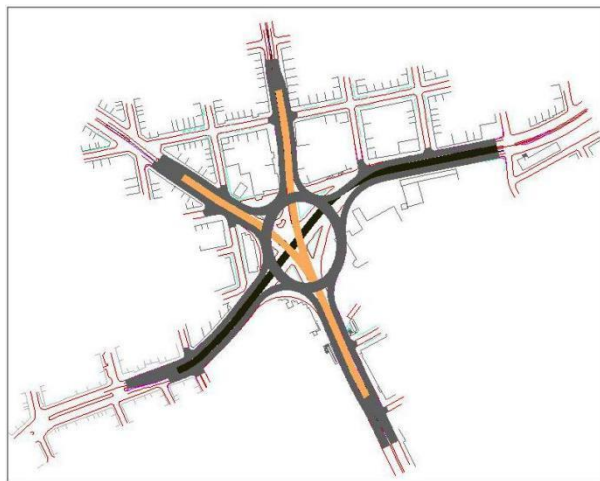
Entre las alternativas se plantearon vías directas, vías directas con deprimidos, el uso de vías en forma de oreja y glorietas con pasos a desnivel (Bueno Cadena, 2009). El objetivo principal fue el estudio de alternativas de solución a desnivel y el diseño geométrico fase 3 de la alternativa seleccionada. Un objetivo secundario del proyecto fue mejorar la movilidad general del sector, pues este punto es de los más neurálgicos de la ciudad, toda vez que por allí transita casi la totalidad de usuarios de carga con destino a Cúcuta y Venezuela; así como un alto porcentaje de tránsito desde y hacia la costa Atlántica.

Algunas de las alternativas presentadas no resultaban viables, ya que no satisfacen la totalidad de giros o requerían una afectación predial importante. La alternativa de diseño fue seleccionada por un comité conformado por la Sociedad Santandereana de Ingenieros, Oficina Asesora de Planeación Municipal, Secretaría de Infraestructura de Bucaramanga y la Universidad Industrial de Santander. Estos entes finalmente optaron por seleccionar una intersección en tres niveles en la que combina una glorieta ovalada de gran tamaño que permite la totalidad de los giros necesarios, se optó por esta alternativa en busca de mitigar la afectación predial puesto que se consideró inicialmente una glorieta circular que generaba un gran impacto predial por lo cual se descarta (Universidad Industrial de Santander, 2010); los flujos con mayor volumen de tránsito

como la conexión Puerta del Sol – UIS y Puerta del Sol – Bulevar se solucionan por un primer paso deprimido en forma de (Y) mientras que la avenida Quebrada Seca en el sentido Cúcuta – Centro se deprime a un segundo nivel; Cada una de las vías que se cruzan en este sitio tendrá vías paralelas de servicio que se conectarán con la glorieta, lo cual permite solucionar cualquier giro (Rueda Rueda, Elaboración del inventario de tráfico, del inventario parcial vial y la optimización de los diseños de cinco intersecciones viales del municipio de Bucaramanga, 2010).

Figura 8.

Alternativa de glorieta con pasos deprimidos.



Nota. Tomado de: Informe de diseño geométrico (Universidad Industrial de Santander, 2010).

2. Caracterización de la zona en estudio

Para la caracterización de la zona en estudio se recolectó información secundaria existente, la cual integra los estudios y proyecciones realizados para la implementación del proyecto. Posteriormente se hizo el levantamiento en campo de información primaria relacionada con señalización vial, caracterización de los perfiles viales existentes, estado de la infraestructura de andenes, estado de la carpeta asfáltica y volúmenes vehiculares en el periodo de máxima demanda en un día típico.

2.1 Localización del proyecto

El proyecto en estudio se encuentra localizado en el sector nororiental de la ciudad, en inmediaciones de la carrera 27 a la altura de la avenida Quebrada Seca, conocido como “Mesón de los Búcaros”. En este punto convergen vías de gran relevancia en los desplazamientos de la ciudad y del país, siendo un punto de conexión en la ruta que conecta la zona central con el oriente del país, e internamente para la ciudad representa una conexión en los flujos norte-sur y oriente-occidente de la ciudad. (Consejo de Bucaramanga, 2010). En la figura 10 se observa la ubicación del Mesón de los Búcaros.

Figura 9.

Ubicación intercambiador vial mesón de los búcaros



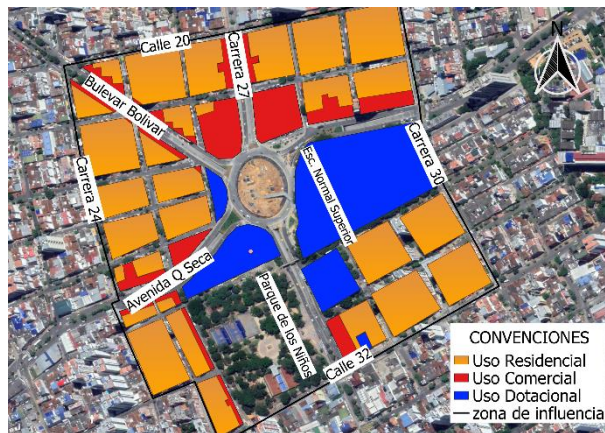
2.2 Zona de influencia.

La zona de influencia se determinó con base en estudios previos del sector y considerando las problemáticas de movilidad evidenciadas en campo. Se definió como zona de influencia para el presente estudio, el área delimitada al norte por la calle 20, al sur por la calle 32, al oriente por la carrera 30 y al occidente por la carrera 24.

Esta área comprende aproximadamente 300 metros a la redonda de la intersección vial y posee usos de suelo mixtos de carácter institucional, comercial y residencial (Consejo de Bucaramanga, 2014).

Figura 10.

Áreas de actividad zona de influencia.



Nota. Tomado de: Plan de Ordenamiento Territorial de Bucaramanga (Consejo de Bucaramanga, 2014)

2.3 Caracterización de la malla vial.

El Mesón de los Búcaros posee tres vías principales, la carrera 27, Boulevard Bolívar y la avenida Quebrada Seca. Estas vías son las de mayor jerarquía y actúan como soporte para el desarrollo de la movilidad en el área metropolitana (Decreto 190 , 2004) . Son corredores viales con altos volúmenes vehiculares donde circulan tráfico liviano desde el norte al sur de la ciudad y tráfico pesado desde el norte al oriente del país (Montoya, 2005).

Además, esta intersección vial contiene vías secundarias de conexión como la carrera 24 y carrera 30, las cuales son corredores viales que alimentan las zonas urbanas y permiten canalizar el tráfico urbano de mediana velocidad conectando con vías primarias y otros sectores de la ciudad. Las vías locales nivel 1 y nivel 2 confluyen en los sectores residenciales y permite el tránsito de

rutas de transporte público (Consejo de Bucaramanga, 2014). En la figura 12 se encuentra consignada la jerarquización vial según lo dispuesto en el POT.

Figura 11.

Jerarquía vial de la zona de estudio



Nota. Tomado de: Plan de Ordenamiento Territorial de Bucaramanga (Consejo de Bucaramanga, 2014)

2.4 Levantamiento de la información primaria

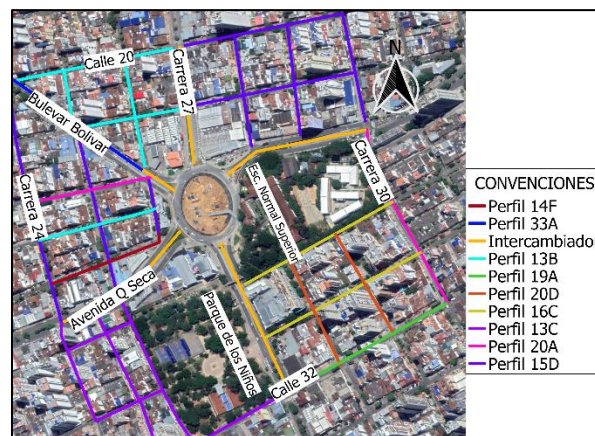
Para llevar a cabo el levantamiento de la información primaria, se realizaron actividades de campo que en primera instancia consistieron en el registro fotográfico de la zona de influencia y fotografías y videos aéreos de la intersección. Posteriormente se realizó un inventario de la señalización vial, daños de pavimento, ancho de calzada y de andenes. Finalmente se realizó el levantamiento de volúmenes vehiculares mediante aforos, con el fin de obtener el estado de la situación actual del funcionamiento de la intersección.

2.4.1 Perfiles viales

Como primera medida, se realizó la verificación en campo del cumplimiento normativo de los perfiles viales según lo estipulado en el Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio (POT). El proceso de verificación se llevó a cabo registrando las dimensiones de ancho de calzada, ancho de andén y separador de los perfiles viales existentes en la zona de estudio, para compararlos posteriormente con los perfiles contemplados en el POT municipal (Consejo de Bucaramanga, 2014). En la figura 13 se muestran los perfiles viales normativos encontrados en la zona de influencia.

Figura 12.

Perfiles normativos de la zona de influencia



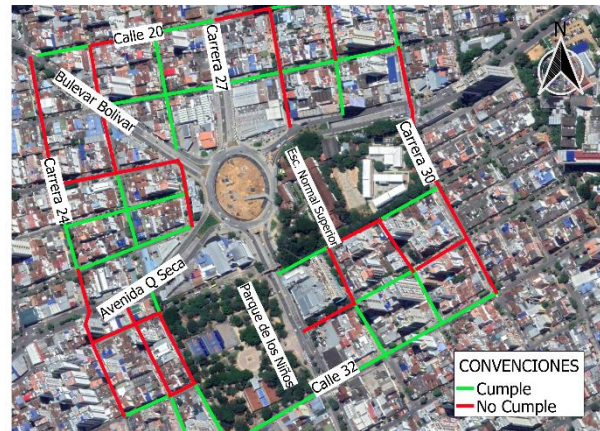
Nota. Tomado de: Plan de Ordenamiento Territorial de Bucaramanga (Consejo de Bucaramanga, 2014)

Se encontró que gran parte de los perfiles viales no cumplen con lo propuesto por el Plan de Ordenamiento Territorial. Con base en el análisis se obtuvo que el 43% cumple con los perfiles

normativos mientras que el 56% no cumple con lo dispuesto por el POT consignado en la figura 14.

Figura 13.

Cumplimiento de los Perfiles Viales



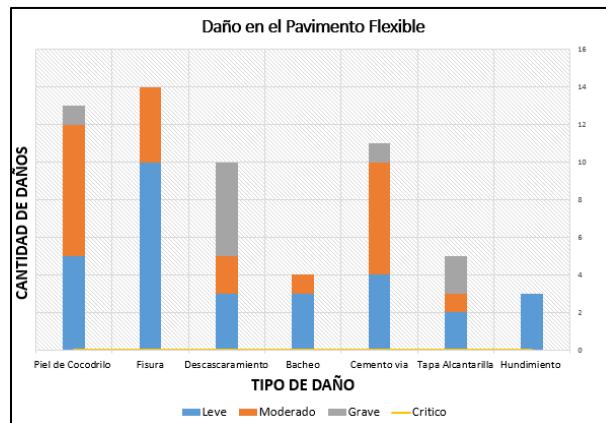
2.4.2 Estado del pavimento

La zona de influencia del Mesón de los Búcaros se ve afectada por el deterioro de la carpeta asfáltica, lo anterior se pudo determinar por medio de una inspección visual en campo y el registro fotográfico, a partir de los cuales se analizaron el tipo, estado y fallas encontradas con base en el manual de inspección visual de pavimentos flexibles (Ministerio de Transporte, 2006). A partir de la información levantada se realizó la clasificación según el tipo de daño y su severidad. Uno de los principales hallazgos es que el estado del pavimento rígido se encuentra en condiciones óptimas de servicio.

Se observó, que los deterioros más comunes son: agrietamientos, baches, parches, fisuras transversales y longitudinales, hundimientos, cemento sobre la vía. La información de forma detallada se encuentra en el anexo C.

Figura 14.

Distribución del estado físico de los andenes según su material.



Como resultado del inventario realizado, se encontraron 60 daños en la capa asfáltica de la zona de influencia, los cuales se encuentran 50% en estado leve, 35% en moderado y 15% en grave (Ministerio de Transporte, 2006). En la figura 16 se muestra la ubicación de los diferentes daños del pavimento.

Figura 15.

Daños de pavimento en la zona de estudio



2.4.3 Señalización vertical

El inventario realizado a la señalización vertical del sector, registró 210 señales verticales, las cuales fueron evaluadas de acuerdo con las disposiciones del manual de señalización vial, En la tabla 8 se presenta la clasificación vial discretizada entre señales reglamentarias, preventivas e informativas, el análisis de la información recolectada arrojó que el 89% se encuentra en buen estado, el 6% en estado regular tiene algún deterioro de oxidación o pintura, mientras que 5% se clasifico en mal estado por su poca visibilidad o deterioro.

Tabla 8.

Estado Señalización Vertical

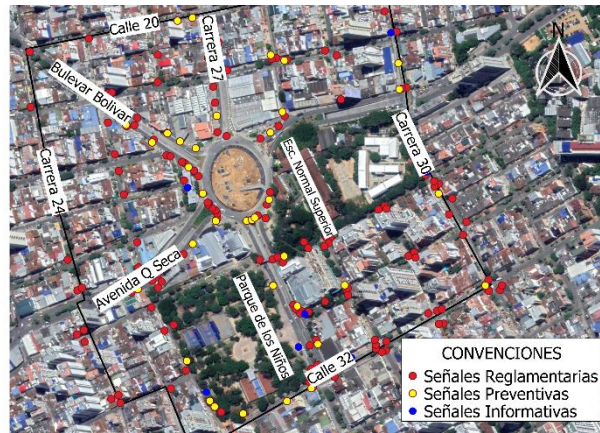
SEÑALIZACIÓN VERTICAL				
Tipo de Señal	Cantidad	ESTADO		
		Bueno	Regular	Malo
Reglamentaria	145	129	9	7
Preventiva	56	48	3	5

Informativa	9	9	-	-
-------------	---	---	---	---

Por otra parte, el 74% corresponde a señales reglamentarias, el 21% a señales preventivas y el 4% a las señales informativas. En la figura 19 se muestra la señalización vertical de acuerdo al tipo de señal; en general se concluye que el estado de la señalización vertical para la zona en estudio se encuentra en óptimas condiciones de servicio.

Figura 16.

Ubicación de la señalización vertical

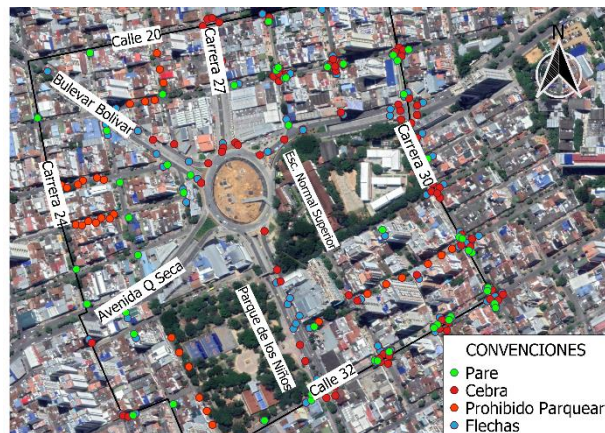


2.4.4 Señalización horizontal.

En el levantamiento de la señalización horizontal, se registraron 340 señales y se clasificaron de la siguiente manera: en senderos peatonales, flechas de incorporación, pare-señalización de ciclo rutas y prohibido parquear. Para cada uno de las señales se verificó las dimensiones de acuerdo al manual de señalización. En la figura 20 se muestra la ubicación de esta señalización horizontal dentro de la zona de influencia.

Figura 17.

Ubicación de la señalización horizontal



En la clasificación se encontró que el 59% de la señalización se encontraba en buen estado, el 30% se encuentra en estado regular y el 11% se encuentra en mal estado.

2.5 Semáforos.

Como parte de la caracterización de la zona de estudio se observa que el comportamiento del tránsito se ve afectado por tres (3) intersecciones semaforizadas, ubicadas sobre la carrera 27 con calle 20, carrera 27 con calle 32 y carrera 30 con avenida Quebrada Seca. Se realizó el registro de los tiempos y fases semaforizadas en cada intersección, con el fin de obtener una aproximación del comportamiento real en el modelo de simulación. En la siguiente tabla se encuentran los tiempos registrados para cada fase semaforizada.

Tabla 9.*Fases y Tiempos Semafóricos*

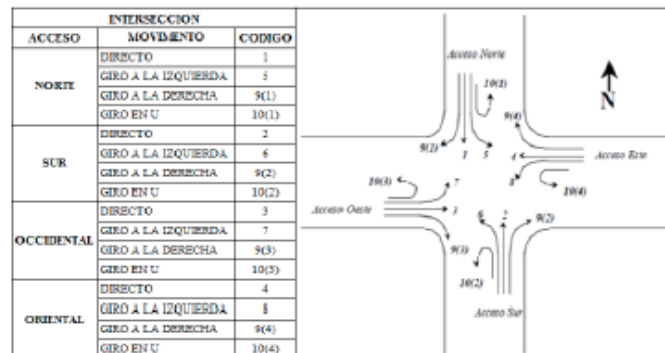
TIEMPOS SEMAFORICOS			
Intersección	Fase 1 [s]	Fase 2 [s]	Ciclo [s]
Carrera 27 con calle 20	88	89	185
Carrera 27 con calle 32	86	88	182
Carrera 30 con Quebrada Seca	82	86	176

2.6 Volúmenes vehiculares.

Para el levantamiento de los volúmenes vehiculares, se realizó una visita de campo que permitió identificar los giros existentes para posteriormente codificarlos con base en la norma RILSA (Alcaldía de Bogotá, 2005), como se encuentra ilustrado en la (figura 22). Una vez evaluada la magnitud de los requerimientos de personal y económicos para el desarrollo del aforo se determinó que excedía nuestras capacidades, por consiguiente, como alternativa se revisó información secundaria de aforos en la ciudad y se realizó un seguimiento del estado de tráfico en la ciudad con la herramienta Google traffic, de forma que se identificó el periodo de máxima demanda, el cual ocurre en la tarde. Teniendo en cuenta lo anterior el aforo se realizó el día 29 de enero del 2020 en el periodo comprendido entre las 4:00 pm y las 8:30 pm en tres puntos ubicados en inmediaciones de la glorieta. Este levantamiento se realizó con el fin de registrar el volumen vehicular que transita por este corredor vial en un día típico y establece la hora de máxima demanda.

Figura 18.

Nomenclatura para los movimientos vehiculares en una intersección.



Nota. Tomado de: Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte (Alcaldía de Bogotá, 2005).

Del análisis de los volúmenes vehiculares, se tomaron en cuenta cinco (5) clasificaciones según el tipo de vehículo: Bicicleta, Motos, Vehículos livianos, Buses y vehículos pesados. Se realizó su respectiva conversión a vehículos equivalentes, utilizando los valores dispuestos en el Manual de diseño geométricos de carreteras presentados en la figura 23.

Figura 19.

Factores de equivalencia vehicular

TIPO DE VEHÍCULO	AUTOMÓVILES DIRECTOS EQUIVALENTES (ade)	
	CARRETERAS ⁽¹⁾	GLORIETAS
Bicicletas	0,50	0,50
Motocicletas	1,00	0,75
Automóviles, taxis, vehículos comerciales livianos	1,00	1,00
Buses	3,00	2,80
Vehículos comerciales medianos y pesados, vehículos de tracción animal	3,00	2,80

Nota. Tomado de: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras

A partir de los aforos realizados en el intercambiador, se determinó que la hora de máxima demanda está comprendida en el periodo de 5:30 pm a 6:30 pm como se puede observar en la figura 24. El análisis nos permitió observar la cantidad de vehículos que atraviesan esta intersección y su respectiva distribución. El 50% corresponde a los viajes de motocicletas; el 43% pertenece a los vehículos livianos; los vehículos pesados tienen una participación del 3% mientras que el 2% pertenece a buses y el 2% a bicicletas, su distribución modal se puede observar en la figura 25.

Figura 20.

Distribución horaria de los flujos vehiculares en la glorieta

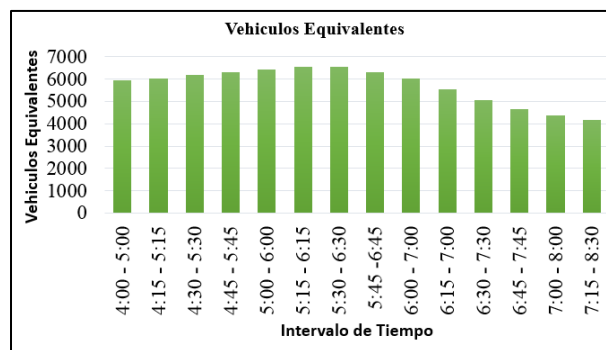
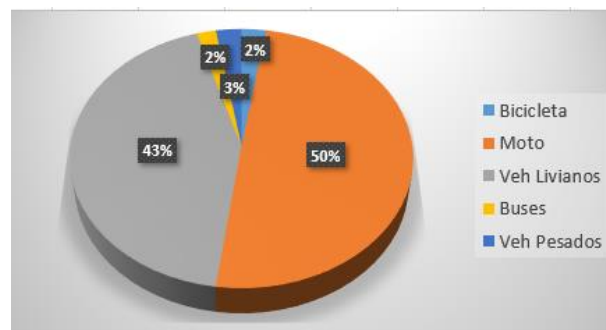


Figura 21.

Distribución modal en el sector para la hora pico



3. Análisis de la situación actual.

Con el fin de modelar la situación actual, a continuación, se describen los principales parámetros considerados en la construcción, calibración y validación del modelo de micro simulación ejecutado como soporte para el análisis de la situación actual y posibles soluciones a implementar.

3.1 Creación y configuración del modelo de micro simulación.

Buscando representar de manera fiel el escenario actual para obtener los flujos vehiculares y demoras que se presentan en la zona de influencia, utilizando la información primaria y secundaria documentada en el proyecto, se procede con la creación del modelo de micro simulación mediante la herramienta de simulación de tráfico AIMSUN. A partir de la información primaria de los perfiles viales se procede a dibujar la malla vial de la zona de influencia asignando valores de jerarquización y anchos de calzada correspondiente para cada corredor; se ajustaron los giros permitidos en cada intersección y demás componentes normativos para el óptimo desarrollo del modelo de micro simulación.

La asignación de la demanda se realizó por medio de matrices OD, las matrices generadas se encuentran detalladas en el anexo I. Inicialmente se identificaron las zonas de generación y atracción, las cuales fueron 18 zonas en total, donde se dispusieron de acuerdo a la dirección de los viajes observados en campo. En la figura 26 se observa la ubicación de las zonas para el sector

en estudio. Además, se definieron siete modos de transporte para el software: bicicletas, motocicletas, vehículos livianos, buses, busetas, camionetas y vehículos pesados.

Figura 22.

Red vial de centroides



Nota. Tomado de: AIMSUN

3.2 Calibración y validación del modelo.

El proceso de calibración consistió en el ajuste de los diferentes parámetros que posee el software, tales como: acondicionamiento de la malla vial con las dimensiones obtenidas en los perfiles viales, el número de carriles, la velocidad permitida de acuerdo a lo expuesto en el plan maestro de movilidad de Bucaramanga, las señales reglamentarias presentes en la zona de influencia y el ajuste del plan maestro de control dentro de los cuales se encuentran los semáforos.

Por medio de detectores utilizando un conjunto de datos reales y comparándolo con los valores de la media obtenida tras cinco replicaciones del escenario, se realizó la validación del

escenario. Se emplea el indicador GEH, nombrado así por su inventor Geoffrey E. Havers. Representa la bondad de ajuste de un modelo y se obtiene por la siguiente ecuación:

$$GEH = \sqrt{\frac{2 * (O - M)^2}{(O + M)}} \quad (1)$$

O = Volumen de tráfico observado en campo

M = Volumen de tráfico que pasa en el modelo

“Un modelo de micro simulación estará calibrado cuando todos los corredores de control estudiados tengan un GEH inferior a 12, el 95% un GEH menor a 10 y al menos el 60% poseen un GEH menor a 5” (Steer Davies Gleave y Transconsult, 2006). La tabla 10 muestra el resultado de la calibración del modelo realizado, donde se muestran las condiciones de aceptación de la calibración.

Tabla 10.

Resultados de la calibración

Tipo de vehículo	GEH (%)		
	GEH <5	GEH <10	GEH <12
Bicicleta	100%	100%	100%
Automóviles	80%	100%	100%
Motocicletas	90%	100%	100%
Busetas	100%	100%	100%
Camionetas	100%	100%	100%
Bus	100%	100%	100%
Pesados (C6)	100%	100%	100%

3.3 Resultados de la situación actual.

Se realizó un análisis general de los principales corredores viales y se utilizaron los siguientes parámetros para la evaluación de la situación actual: tiempo total de paradas, número de paradas, tiempo total de viaje y demoras totales. Los resultados de la simulación realizada se muestran en la tabla 11.

Tabla 11.

Resultados de la situación actual

Factores de la situación actual	
Tiempo total de paradas (s/km)	263.73
Número de paradas	37507
Tiempo total de viaje (s)	41650.2
Demoras totales (s/km)	275.50
Velocidad Media de viaje (km/h)	12.66

Se evidencia que los viajes que ejecutan los usuarios desde y hacia la zona se están viendo gravemente afectados por las demoras y por el tiempo que emplean para realizar paradas. Las demoras hacen que los tiempos totales de viaje aumenten considerablemente y que la velocidad de viaje disminuya, generando conflictos en la movilidad de la zona.

“Los niveles de servicio son una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de flujo de vehículos o personas y su percepción por los conductores o pasajeros. Los niveles de servicio se clasifican desde la A hasta la F; el nivel de servicio A representa las mejores condiciones operativas y el nivel de servicio F las peores” (Cerquera Escobar, 2007). Los niveles de servicio fueron calculados según lo dispuesto en el HCM 2010, usando la relación V/C y el

tiempo de demoras. En la tabla 12 se encuentran los niveles de servicio de los principales corredores viales y los demás tramos están consignados en el Anexo J (Highway Capacity Manual, 2010).

Tabla 12.

Niveles de Servicio

Corredor Vial	Tiempo de Demora (s/km)	V/C	Nivel de Servicio
Cra 27- E. Restaurante (N-S)	74.61	0.310	F
Bulevar Sant- E. Glorieta (N-S)	65.06	0.206	F
Q Seca- E. Glorieta (O-E)	90.57	0.281	F
Cra 27 Peat- E. Glorieta (S-N)	110.26	0.290	F
Q Seca- E. Glorieta (E-O)	56.02	0.238	F
Cll 22 entre Cra 25-Bulevar	23.31	0.074	C
Cra 24 entre Cll 28 - Q Seca	67.70	0.202	F
Cra 28 entre Cll 21- Q Seca	1.0	0.033	A
Cra 30entre Cll 21-Q Seca	83.13	0.105	F
Cll 31entre-Cra 27-Cra 28	29.67	0.212	D

4. Comparación y análisis de resultados basados en los escenarios temporales (2009-2019).

4.1 Comparación de tránsito.

Según el “informe de micro simulación Mesón de los Búcaros del 2010” se estimó el crecimiento anual del tránsito en 0.96% anual de acuerdo con el crecimiento poblacional y basados en el crecimiento del parque automotor se obtuvo una tasa de crecimiento del 3.82%. Al proyectar las cifras del parque automotor presentadas en el estudio (Universidad Industrial de Santander, 2010) desde el año 2008 al año 2015 fecha en la cual se iniciaron las labores de construcción del intercambiador se identificó que el crecimiento del parque automotor respecto a los datos suministrados por el registro único nacional de tránsito son considerablemente inferiores como se puede apreciar a continuación en la tabla 13.

Tabla 13.

Comparación parque automotor proyectado vs parque automotor real Bucaramanga año 2015

Estudio micro simulación proyección 2015*	Registro único Nacional de tránsito 2015
166019.1	189339

Al realizar nuevamente la comparación de estas cifras para el año 2018 fecha en la cual fueron habilitados todos los ejes viales del intercambiador (Vanguardia Liberal, 2018). Se puede identificar nuevamente una diferencia notable en el crecimiento del parque automotor respecto a las proyecciones realizadas como se muestra a continuación en la tabla 14.

Tabla 14.

Comparación parque automotor proyectado vs parque automotor real Bucaramanga año 2018

	Registro único Nacional de tránsito 2018
Proyección 2018	205884
187780.9	

Nota: La proyección presentada para el año 2018 se calculó de manera lineal constante con base en la tasa de crecimiento del parque automotor presentada en las proyecciones del estudio de micro simulación (Universidad Industrial de Santander, 2010).

Según estos datos existe una diferencia de 20103 vehículos lo cual representa un 10.8% de desfase respecto a la proyección vehículos planteada para la construcción del intercambiador.

4.2 Comparación Velocidades.

Se realiza una inspección en campo de las velocidades de los vehículos automotores con el fin de determinar posibles mejoras o deficiencias a partir de la construcción del intercambiador vial Mesón de los Búcaros como se muestra a continuación en la tabla 15.

Tabla 15.*Comparación de Velocidades*

Corredores Viales	Intercambiador	Intercambiador
	2010	2019
	V (km/h)	V (km/h)
Entrada Carrera 27 N-S	31.9	17.5
Entrada Bulevar B	29.9	15.14
Entrada Q Seca O-E	23.8	15.95
Entrada Carrera 27 S-N	46.9	25.15
Entrada Q Seca E-O	38.6	14.6

Al analizar los datos de las velocidades se hace evidente la disminución en estas, lo cual representa un aumento en las demoras y tiempos de viaje, por lo que se evidencia un deterioro de la capacidad de servicio del intercambiador desde la época de su concepción a la fecha actual.

4.3 Comparación Niveles de Servicio.

Haciendo uso de la herramienta de micro simulación AIMSUN se simularon las condiciones actuales basados en los parámetros de velocidades, señalización e infraestructura del intercambiador vial Mesón de los Búcaros. A partir de dicha simulación se obtuvieron los siguientes resultados en términos de niveles de servicio como se aprecia en la tabla 16.

Tabla 16.*Comparación de Niveles de Servicio*

Corredores Viales	Intercambiador	Intercambiador
	2010 NDS	2019 NDS
Entrada Carrera 27 N-S	C	F
Entrada Bulevar B	B	F
Entrada Q Seca O-E	C	F
Entrada Carrera 27 S-N	C	F
Entrada Q Seca E-O	A	F

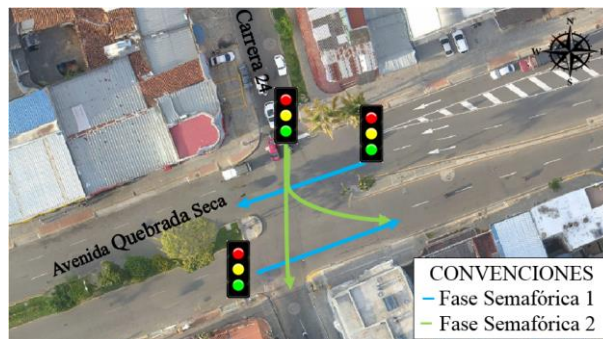
Comparando los resultados obtenidos en los niveles de servicio, es indudable la pérdida de capacidad del intercambiador y la necesidad de su intervención en busca de mejorar los niveles de servicio además de optimizar las demoras y los tiempos de viaje. Cabe resaltar que el tráfico y niveles de servicio proyectados en la concepción del intercambiador, se estimaron considerando el comportamiento histórico de la movilidad en la ciudad. Sin embargo estas proyecciones no podían considerar las fuertes alteraciones presentadas en el comportamiento del tráfico de la ciudad, entre las cuales se evidenciaron cambios a raíz de la implementación del SITP, el aumento excesivo en el parque automotor y la expansión urbana irregular, factores que no se pudieron prever y que hicieron que las proyecciones realizadas se alejaran del funcionamiento actual del intercambiador.

5. Propuestas de solución y recomendaciones para el mejoramiento del intercambiador.

Una vez evidenciados los conflictos de movilidad tras la implementación del intercambiador, a continuación, se presentan propuestas de solución que contemplan la ubicación y configuración de semáforos en las inmediaciones de la glorieta. Se plantean dos alternativas de solución a corto plazo que ayuden a mitigar la congestión vehicular en este sector. Cada alternativa está encaminada a mejorar significativamente los niveles de servicio en los accesos de la glorieta. El cálculo de las fases y los tiempos semafóricos se realizaron mediante el método de Webster, sustentado en la metodología propuesta por Cal, Reyes y Cárdenas (James Cal, Reyes Spindola, & Cardenas Grisales) y se presentan en el Anexo K.

5.1 Alternativa 1.

El primer escenario propuesto es la implementación de un semáforo en la entrada oeste de la glorieta a la altura de la carrera 24 con Avenida Quebrada Seca como se muestra en la Figura 27; Se busca controlar la congestión vehicular que circula por la carrera 24 y mejorar el ingreso a la glorieta.

Figura 23.*Semáforo alternativa 1*

La configuración semafórica de esta alternativa se encuentra en la Tabla 17, donde se muestra el tiempo en verde y el ciclo total de cada fase. Una vez modelada esta alternativa se presentan los resultados obtenidos en la Tabla 18.

Tabla 17.*Configuración Semáforo cra 24*

Fase Semafórica	1	2
Tiempo verde (s)	36	17
Tiempo Total (s)	60	40

Tabla 18.*Resultados Alternativa 1*

Factores de la Alternativa 1	
Tiempo total de paradas (s/km)	198.68
Número de paradas	40299.4
Tiempo total de viaje (s)	36923.4
Demoras totales (s/km)	212.79

Factores de la Alternativa 1

Velocidad Media de viaje (km/h)	14.06
---------------------------------	-------

Al simular esta alternativa se encontró que los niveles de servicio de varios corredores viales mejoran considerablemente, optimizando el desempeño operativo en este sector. Los resultados obtenidos en términos de demoras y niveles servicio se presentan a continuación en la Tabla 19.

Tabla 19.

Niveles de Servicio Alternativa 1

Corredor Vial	Tiempo de Demora (s/km)	V/C	Nivel de Servicio
Cra 27- E. Restaurante (N-S)	82.82	0.295	F
Bulevar Sant- E. Glorieta (N-S)	70.68	0.206	F
Q Seca- E. Glorieta (O-E)	34.74	0.268	D
Cra 27 Peat- E. Glorieta (S-N)	23.84	0.318	C
Q Seca- E. Glorieta (E-O)	16.8	0.304	C
Cll 22 entre Cra 25-Bulevar	26.6	0.073	D
Cra 24 entre Cll 28 - Q Seca	25.5	0.191	D
Cra 28 entre Cll 21- Q Seca	1.0	0.036	A
Cra 30entre Cll 21-Q Seca	30.59	0.128	D
Cll 31entre-Cra 27-Cra 28	4.72	0.208	A

5.2 Alternativa 2.

El segundo escenario consiste en adaptar la propuesta 1 y añadir un sistema de Ramp Metering, este sistema se aplica en los accesos a intersecciones, de modo que limita el número de vehículos entrantes a las vías principales, en este caso una glorieta. Este modelo fue simulado con base en la existencia de corredores con alta demanda que sufren largas colas, se ubicaron detectores en las calzadas que se comunican con semáforos dosificadores ubicados en dos de los accesos a la glorieta, permitiendo aliviar la congestión, mejorando el flujo de la vía y reduciendo el tiempo total de viaje (Martin Gasulla, 2012). Para ejecutar el modelo se ubicaron detectores en el acceso del Bulevar Bolívar y otro en el acceso de la carrera 27 sentido Norte-Sur como se muestra en la figura 28 a una distancia de 80m, esto con el fin de alimentar los datos de congestión vehicular en tiempo real.

Figura 24.

Semáforos dosificadores alternativa 2



La utilización de estos semáforos dosificadores además de aliviar la congestión en el acceso contiguo logra brindar una mejoría en la incorporación de los demás corredores viales, toda vez

que el semáforo dosificador proporciona luz roja libera la congestión en más de uno de los accesos reduciendo así las demoras hasta en un 60%. Una vez modelada la alternativa 2 se procede a extraer los resultados y se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20.

Resultados de la alternativa 2

Factores de la situación actual	
Tiempo total de paradas (s/km)	136.23
Número de paradas	33165.4
Tiempo total de viaje (s)	30850.2
Demoras totales (s/km)	152.17
Velocidad Media de viaje (km/h)	15.68

Al implementar esta alternativa se observa que los niveles de servicio mejoran considerablemente en las entradas a la glorieta, como se indica en la Tabla 21.

Tabla 21.

Niveles de Servicio Alternativa 2

Corredor Vial	Tiempo de Demora (s/km)	V/C	Nivel de Servicio
Cra 27- E. Restaurante (N-S)	17.53	0.306	C
Bulevar Sant- E. Glorieta (N-S)	36.22	0.281	E
Q Seca- E. Glorieta (O-E)	13.99	0.277	B
Cra 27 Peat- E. Glorieta (S-N)	5.74	0.311	A
Q Seca- E. Glorieta (E-O)	37.1	0.293	E
Cll 22 entre Cra 25-Bulevar	2.93	0.071	A
Cra 24 entre Cll 28 - Q Seca	25.4	0.209	D

Corredor Vial	Tiempo de Demora (s/km)	V/C	Nivel de Servicio
Cra 28 entre Cll 21- Q Seca	1.0	0.034	A
Cra 30entre Cll 21-Q Seca	30.29	0.131	D
Cll 31entre-Cra 27-Cra 28	2.93	0.197	A

6. Conclusiones

Se identificó que aproximadamente el 56% de los perfiles viales de la zona en estudio no cumplen con las dimensiones normativas proyectadas en el Plan de Ordenamiento Territorial 2014-2027, la alteración de los perfiles viales sumado con el deterioro de la malla vial ha provocado que no se realicen viajes de manera eficiente y se genera un aumento en el número de paradas.

El estado de la señalización vertical y horizontal no es el óptimo, ya que en algunos sectores la visualización de las señales de tráfico es precaria. De las 210 señales verticales ubicadas en la zona de estudio el 11% se encuentra en estado regular o malo mientras que de las 340 señales horizontales el 40% presenta algún tipo de deterioro por lo que se recomienda realizar un mantenimiento correctivo a la señalización vial del sector.

Del análisis de los volúmenes vehiculares se encontró que los viajes realizados en motocicleta pertenecen al 50% del volumen total del tráfico, seguido por los vehículos livianos con un porcentaje de participación del 43% mientras que los vehículos pesados, buses y bicicletas tienen un porcentaje del 7%. Estas cifras evidencian la clara superioridad por la preferencia del

uso de motocicleta y vehículos livianos, siendo una de las principales razones por la cual la glorieta ha excedido su capacidad.

En el modelo de microsimulación de la situación actual se puede evidenciar que los accesos de entrada a la glorieta presentan un nivel de servicio F lo cual es insuficiente para la demanda vehicular que circula por este sector, la intersección de la carrera 24 con Avenida Quebrada Seca y la carrera 30 con Avenida Quebrada Seca también presentan un nivel de servicio F. Las mejores condiciones de movilidad se presentan en la calle 22 y la carrera 28 con un nivel de servicio C y A respectivamente. Por lo que se hace necesario plantear posibles alternativas de solución que mejoren los Niveles de Servicio y los tiempos de viaje de los corredores evaluados.

La implementación de un semáforo en la carrera 24 con Avenida Quebrada seca como alternativa de solución, permite una mejor circulación del tráfico sentido occidente-oriente y brinda una solución a las obstrucciones vehiculares y accidentes que se presentan frecuentemente en este punto debido a la alta demanda vehicular del sector; además de mejorar considerablemente los niveles de servicio en este corredor vial como se muestra en la tabla 17.

La alternativa de solución 2 en la cual se adapta la propuesta 1 y se añade un sistema de Ramp Metering, claramente contribuye en mayor medida a mejorar la totalidad de los accesos a la glorieta como se muestra en la tabla 19, por lo cual se recomienda realizar un estudio más a profundidad de este escenario, considerando otros problemas como la falta de control en el tránsito de carga pesada en horarios no autorizados y el paso de peatones por las vías de acceso a la glorieta.

Al contrastar las proyecciones del parque automotor realizadas en los estudios de tránsito para la construcción del intercambiador vial Mesón de los Búcaros en la ciudad de Bucaramanga en los años 2015 y 2018 fechas en las cuales se dio inicio a las obras y se habilitaron la totalidad de los ejes viales respectivamente, se identifica que las tasas de crecimiento asumidas para la

proyección del parque automotor no coinciden con la realidad a la fecha, además no se consideró para dichas proyecciones el crecimiento del parque automotor a nivel del área Metropolitana; ya entre el año 2010-2018 el parque automotor incremento en un 87% según datos proporcionados por el registro único nacional de tránsito.

La falta de control en zonas de intersección aledañas al intercambiador vial Mesón de Los Búcaros, en conjunto con la elevada demanda del sector en horas pico generan embotellamientos principalmente en los corredores viales Bulevar Bolívar y carrera 27 sentido norte-sur impidiendo la correcta circulación del flujo vehicular. Este problema genera atascamientos adicionales de los corredores viales en sentido occidente-oriente por lo que se hace necesaria la implementación de semáforos en las intersecciones que carecen de estos; permitiendo regular el tránsito del sector como se mencionó en las alternativas de solución propuestas.

Referencias Bibliográficas.

- Consejo Nacional de Política Económica y Social. (01 de Agosto de 2005). *Sistema integrado del servicio público urbano de transporte masivo de pasajeros del Área Metropolitana de Bucaramanga - seguimiento*. Obtenido de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3370.pdf>
- Alcaldía de Bogotá. (2005). *Manual de Planeación y Diseño para la administración del Tránsito y el transporte*. Bogotá, D.C.
- Alcaldía de Bogotá. (2005). *Manual de Planeación y Diseño para la administración del Tránsito y el transporte*. Bogotá.
- Alcaldía mayor de Bogotá. (Octubre de 2005). *Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte*. Obtenido de https://www.movilidadbogota.gov.co/web/sites/default/files/Paginas/16-03-2020/7._manual_de_planeacion_y_diseno_para_la_administracion.pdf
- Bueno Cadena, C. (2009). *Elaboración del inventario de tráfico, del inventario parcial vial y la optimización de los diseños de cinco intersecciones viales del municipio de Bucaramanga*. Bucaramanga.
- Cerquera Escobar, F. A. (Octubre de 2007). *Capacidad y niveles de servicio de la infraestructura vial*. Obtenido de <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/1222/1/RED-1.pdf>
- Consejo de Bucaramanga. (2010). *Proyecto acuerdo 127*. Bucaramanga.
- Consejo de Bucaramanga. (2014). *Plan de Ordenamiento Territorial 2014-2027*. Bucaramanga.
- Consejo Nacional de Política Económica y Social. (26 de 07 de 2004). *Departamento de Planeación Nacional*.

Consejo Nacional de Política Económica y Social. (23 de 05 de 2020). *DocumentoConpes 3167 Política para mejorar el servicio de transporte público urbano de pasajeros*. Obtenido de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3167.pdf>

Cote Peña, L. F. (2000). *Plan de Desarrollo Metropolitano*. Bucaramanga.

DANE. (s.f.). *Demografía y población*. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion>

Decreto 0189. (31 de Mayo de 2010). *Por medio de la cual se declara de utilidad pública e interés social los predios requeridos para la construcción del intercambiador vial de la avenida quebrada seca con carrera 27*. Obtenido de http://www.bucaramanga.gov.co/el-atril/download/decretos_y_resoluciones_antes_de_2016/0189-06072010.pdf

Decreto 190 . (22 de Junio de 2004). *Por medio del cual se compilan las disposiciones contenidas en los Decretos Distritales 619 de 2000 y 469 de 2003*. Obtenido de <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=13935>

El Frente. (28 de Mayo de 2016). *El meson de los bucaros, un premio a la ineficiencia*. Obtenido de <http://m.elfrente.com.co/index.php?ecsmodule=frmstasection&ida=56&idb=103&idc=3295>.

El país. (16 de Enero de 2019). *El 57 % del parque automotor en Colombia son motos: RUNT*. Obtenido de <https://www.elpais.com.co/colombia/el-57-del-parque-automotor-en-colombia-son-motos-runt.html>.

Financiera de Desarrollo Territorial FINDETER. (11 de Febrero de 2013). *Mesa de Sostenibilidad Urbana - Secretaria de Infraestructura* -. Obtenido de <https://www.findeter.gov.co/loader.php?lServicio=Tools2&lTipo=descargas&lFuncion=descargar&idFile=210392>.

Highway Capacity Manual. (2010). Washington.

James Cal, R., Reyes Spindola, M., & Cardenas Grisales. (s.f.). *Ingeniería de tránsito fundamentos y aplicaciones*. Mexico: Alfaomega.

Ley 388. (24 de Julio de 1997). *Por la cual se modifica la Ley 9ª de 1989, y la Ley 3ª de 1991 y se dictan otras disposiciones.* Obtenido de http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0388_1997.html

Martin Gasulla, M. (2012). *Estudio y mejora de la capacidad y funcionalidad de glorietas con flujos de trafico descompensadas mediante microsimulación de trafico.*

Ministerio de Transporte. (Octubre de 2006). *Estudio de investigacion del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Convenio Interadministrativo -0587 - 03. Manual para la inspeccion visual de pavimentos flexibles.* Obtenido de <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/manuales-de-inspeccion-de-obras/974-manual-para-la-inspeccion-visual-de-pavimentos-flexibles/file>

Montoya, G. (Noviembre de 2005). *Ingenieria de Transito.* Obtenido de <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/apuntes-ingenieria-de-transito.pdf>

Organización de las Naciones Unidas. (2018). *La ONU calcula que el 68 % de la población mundial será urbana en 2050.* Obtenido de <https://www.efe.com/efe/america/sociedad/la-onu-calcula-que-el-68-de-poblacion-mundial-sera-urbana-en-2050/20000013-3617928>.

Organización de las Naciones Unidas. (2018). *Las ciudades seguirán creciendo, sobre todo en los países en desarrollo.* Obtenido de <https://www.un.org/development/desa/es/news/population/2018-world-urbanization-prospects.html>

Perez Amaya, F. d. (2007). *Estudio de transito para la construccion del intercambiador Meson de los Bucaros sobre la carrera 27 con avenida Quebrada Seca.* Bucaramanga.

Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo. (2016). *Objetivo 11: Ciudades y comunidades sostenibles.* Obtenido de <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-11-sustainable-cities-and-communities.html>.

Rueda Rueda, L. A. (2010). *Elaboración del inventario de tráfico, del inventario parcial vial y la optimización de los diseños de cinco intersecciones viales del municipio de bucaramanga.* Bucaramanga.

Steer Davies Gleave y Transconsult. (2006). *Modelacion de demanda para carreteras de Cuota*.

Universidad Industrial de Santander. (2010). *Caracterizacion de las vias de mediano y bajo flujo vehicular, implementacion de un sistema de gestion de pavimentos para la malla vial vehicular y modelamiento, diagnostico y alternativas de solución para la movilidad urbana del municipio de Bucaramanga*. Bucaramanga.

Universidad Industrial de Santander. (2010). *Caracterizacion de las vias de mediano y bajo flujo vehicular, implementacion de un sistema de gestion de pavimentos para la malla vial vehicular y modelamiento, diagnostico y alternativas de solución para la movilidad urbana del municipio de Bucaramanga*. Bucaramanga.

Vanguardia Liberal. (24 de Diciembre de 2018). *Alcaldía de Bucaramanga habilitó la vía que faltaba entregar en Mesón de Los Búcaros*. Obtenido de <https://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/alcaldia-de-bucaramanga-habilito-la-via-que-faltaba-entregar-en-meson-de-los-bucaros-DCv1453752>