



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
División de Investigación y Posgrado



**OPTIMIZACIÓN DE LA ADMINISTRACIÓN DE LOS SERVICIOS
PÚBLICOS MUNICIPALES A PARTIR DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA BASADO EN LA RED VIAL. CASO DE ESTUDIO: TRANSPORTE
URBANO DE PASAJEROS EN EL MUNICIPIO DE GUANAJUATO**

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestría en Ingeniería de Vías Terrestres

Presenta:

Gerardo Alonso Romero

Dirigido por:

M.C. César Augusto Granada Isaza

Centro Universitario

Querétaro, Qro.

Abril / 2012

México



Universidad Autónoma de Querétaro
 Facultad de Ingeniería
 Maestría en Ingeniería

OPTIMIZACIÓN DE LA ADMINISTRACIÓN DE LOS SERVICIOS PÚBLICOS MUNICIPALES A PARTIR DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA BASADO EN LA RED VIAL. CASO DE ESTUDIO: TRANSPORTE URBANO DE PASAJEROS EN EL MUNICIPIO DE GUANAJUATO

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de Maestro en Ingeniería (Vías terrestres)

Presenta:

Gerardo Alonso Romero

Dirigido por:

M.C. César Augusto Granada Isaza

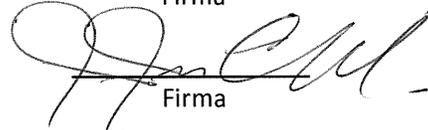
SINODALES

M.C. César Augusto Granada Isaza
 Presidente



Firma

Dr. Jesús Alonso Mota
 Secretario



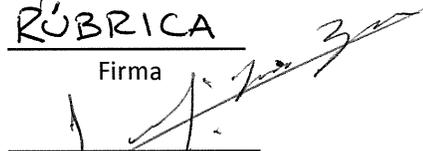
Firma

M.I. Francisco Gerardo Guerrero Gutiérrez
 Vocal

RÚBRICA

Firma

Dr. Saúl Antonio Obregón Biosca
 Suplente



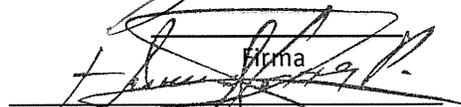
Firma

M. I. Aldo Alfaro González
 Suplente



Firma

Dr. Aurelio Domínguez González
 Director de la Facultad



Dr. Irineo Torres Pacheco

Director de Investigación y Posgrado

Centro Universitario
 Querétaro, Qro.
 Abril de 2012
 México

RESUMEN

El objetivo del trabajo es diseñar un modelo de optimización para el servicio autobuses de pasajeros en la ciudad de Guanajuato utilizando un SIG y un inventario actualizado de la red vial. Actualmente la ciudad presenta una saturación de la red vial así como un sistema ineficiente e inadecuado de transporte urbano. El uso de herramientas modernas como los SIG permite visualizar en un entorno gráfico la realidad y las propuestas de un modo que no se percibe con otros modelos gráficos o numéricos. Se recabaron datos de la traza urbana y de las líneas de transporte como base de información inicial. Se analizaron las variables de la red encontrando que la más relevante es el tipo de vía que se clasificó como local o de ruta, seleccionando como universo de análisis solo a las segundas. Se establecieron indicadores de eficiencia determinados por el porcentaje de uso de vialidades, el número de pasos de línea por un mismo tramo, el tiempo de traslado, el porcentaje de cobertura de las líneas y la compatibilidad con los peatones. Se encontró que actualmente las vías más transitadas por los autobuses son las calles principales del centro de la ciudad, y que la zona sur y periferia tienen una cobertura insuficiente o inexistente. Se propusieron tres modelos generales de red de transporte, resultando el más adecuado el que considera líneas troncales intercomunicadas, más líneas alimentadoras. Se optimizó de acuerdo con los indicadores predefinidos, y posteriormente calibrado en campo mediante recorridos reales seleccionados, con lo que se obtuvieron valores de ajuste en tiempo, distancia y velocidad. A continuación se estableció la ubicación más apropiada para las paradas. Finalmente se propuso un modelo de transferencia de unidades que resulta atractivo para usuarios y prestadores del servicio. En conclusión, los modelos obtenidos han permitido cumplir el objetivo del trabajo y comprobar la hipótesis planteada. La propuesta se puede institucionalizar dentro de la administración municipal enriqueciéndola con el aprendizaje que se obtenga de la aplicación real en el sistema de transporte urbano.

(Palabras clave: Sistema de información geográfica, Vialidad de ruta, sistema de transporte urbano)

SUMMARY

The goal for the present paper is the design of an optimization model for the bus service in the city of Guanajuato by using a GIS and a current inventory of the street network. At the present moment the city suffers a saturation of its roads besides an inefficient and inaccurate bus system, so the use of modern tools as GIS allows to view in a graphic environment the reality and solution proposals so isn't perceived whit no other graphic or numeric models. Data of urban trace and transport routes were collected as initial information. Variables of the network were analyzed, finding that most relevant of all is the type of via, which was classified as local or route, and only the route ones were selected for analysis. There were established some efficiency indicators determined by use percentages of roads, the number of passes by the same section, trip time, percentage of coverage for routes and compatibility whit pedestrians. It was found that currently the most transited roads for buses are principal streets in down town, while in south zone and vicinity the bus service coverage is low or inexistent. Three general models of transport network were proposed, resulting the most accurate which consider stem routes interconnected, plus feeder routes. Optimization was made according the indicators, and the model was calibrated in situ by selected real trips, so were obtained adjusting parameters for time, distance and speed. Then was defined the most accurate bus stop locations. Finally, a passengers transfer model was proposed, which is attractive for users and service providers. In conclusion, models allowed get the work goal and prove the hypothesis. The proposal can be institutionalized inside municipal government enriching whit the learning obtained by the real application in the urban transport system.

(Key words: GIS, route road, urban transport system.)

A Fabiola, Gerardo y Danna Liliana

AGRADECIMIENTOS

A Fabiola, por su paciencia, amor y solidaridad.

A la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción delegación Guanajuato, por acercar la posibilidad de esta maestría.

A la Universidad Autónoma de Querétaro.

Al M.C. César Augusto Granada Isaza, por su valiosa asesoría en el desarrollo del presente trabajo.

Al Dr. Israel Cabrera Barrón, por servir de enlace con las autoridades y por sus atinados comentarios.

A los CC. Lic. Christian Manuel Ortiz Muñiz y Raúl Arrieta Medina, quienes proporcionaron valiosa información inicial para el desarrollo de este trabajo.

INDICE

	Página
Resumen	ii
Summary	iii
Dedicatorias	iv
Agradecimientos	v
Índice	vi
Índice de tablas	ix
Índice de figuras	xi
I. INTRODUCCION	1
I.1. CONCEPTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA E IMPORTANCIA DEL ESTUDIO	1
I.2. ANTECEDENTES	4
I.3. JUSTIFICACIÓN	7
I.4. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	11
I.4.1. OBJETIVO GENERAL	11
I.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
I.4.3. HIPÓTESIS	11
II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	12
II.1. SERVICIOS MUNICIPALES	12
II.2. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	15
II.3. MODELOS DE ADMINISTRACIÓN DE SERVICIOS MUNICIPALES	18

III. METODOLOGIA	21
III.1. DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE ADMINISTRACIÓN DEL TRANSPORTE PÚBLICO MUNICIPAL EN GUANAJUATO CAPITAL	23
III.2. INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA URBANA	28
III.3. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	31
III.4. INDICADORES	33
III.5. DISEÑO DE MODELOS DE OPTIMIZACIÓN	35
III.5.1. CRITERIOS	35
III.5.2. DEFINICIÓN DE VALORES PARA LOS CRITERIOS	37
III.5.3. PROCESO	40
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
IV.1. MEDICIÓN DE VARIABLES	42
IV.2. EVALUACIÓN DE INDICADORES	47
IV.3. DIAGNÓSTICO	57
IV.4. MODELO PROPUESTO	58
IV.5. COMPROBACIÓN	66
IV.6. VARIABLES ADICIONALES	78
IV.6.1. UBICACIÓN DE PARADAS DE AUTOBÚS	78
IV.6.2. TIPO DE UNIDADES POR LÍNEA	81
IV.6.3. NÚMERO DE UNIDADES NECESARIO	84
V. CONCLUSIONES	89
VI. RECOMENDACIONES	93
LITERATURA CITADA	95

ABREVIATURAS	99
GLOSARIO DE TÉRMINOS	102

INDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1 Ejemplo de identificación de líneas urbanas	25
2 Resumen de líneas suburbanas	26
3 Resumen de líneas urbanas	27
4 Resumen de puntos viales conflictivos	28
5 Lineamientos de SEDESOL para ubicación de centros educativos	34
6 Cobertura general de líneas propuesta	37
7 Cobertura propuesta de manzanas por zona para la optimización de las líneas de transporte público en Guanajuato capital	38
8 Cobertura propuesta de equipamiento urbano por zona para la optimización de las líneas de transporte público en Guanajuato capital	38
9 Valor propuesto del parámetro de longitudes extremas para las líneas	39
10 Valor propuesto del parámetro de transbordos y tiempo de traslado de las líneas	39
11 Valor propuesto del parámetro de saturación de vialidades por las líneas de transporte	40
12 Tipo de tránsito usuario por tipo de vialidad	43
13 Características geométricas de las vialidades de ruta	44
14 Porcentaje de uso de vialidades disponibles por las líneas de transporte urbano	47
15 Resumen de longitudes de líneas de transporte urbano (medio circuito)	48
16 Superficie de manzanas en la zona urbana	51
17 Ubicación de estaciones de transferencia	60
18 Descripción de líneas troncales propuestas	61
19 Descripción de líneas alimentadoras propuestas	63
20 Cobertura general de líneas con la propuesta	66
21 Valores de cobertura de equipamiento con la propuesta	67

22	Detalle de cobertura de equipamiento con la propuesta	67
22	Resumen de longitudes de líneas de transporte urbano (medio circuito)	70
23	Resultados para el parámetro de transbordos y tiempos de traslado para el sistema de líneas propuesto	71
24	Resultados para el parámetro de saturación de vialidades con el sistema de líneas propuestas	74
25	Comparación del parámetro de saturación de vialidades en los puntos conflictivos	77
26	Número total de habitantes en las poblaciones dentro de la cobertura del sistema propuesto	84
27	Población a atender por línea en el sistema propuesto	86
28	Cálculo de unidades necesario para el sistema propuesto.	87

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Porcentaje promedio de viviendas con servicios agrupados por tamaño de comunidad	2
2	Red vial principal y secundaria de Guanajuato capital	24
3	Red vial de Guanajuato capital	30
4	Longitud de vialidades por tipo	42
5	Resumen de vialidades de ruta por rangos de ancho de corona	45
6	vialidades de ruta en la zona urbana con ancho mayor o igual a 3.0 m	46
7	Distribución de frecuencias para las distancias de recorrido de líneas de transporte actuales	48
8	Distribución de frecuencias para los tiempos de recorrido de líneas de transporte	49
9	Distribución de frecuencias para las velocidades promedio de recorrido de líneas de transporte	50
10	Saturación de vialidades por las líneas de transporte actuales	51
11	Porcentaje de cobertura de manzanas con las líneas actuales	52
12	Porcentaje de cobertura de equipamiento urbano con las líneas actuales	52
13	Vialidades de uso peatonal en líneas de transporte	53
14	Densidad de líneas de transporte	55
15	Detalle de densidad de líneas de transporte en el centro histórico, de la calle Miguel Hidalgo a Presa de la Olla	56
16	Distancias periféricas de cobertura a elementos de equipamiento urbano	59
17	Propuesta de ubicación de estaciones de transferencia	60
18	Propuesta de líneas troncales	62
19	Ubicación de líneas y centrales de transbordo en la propuesta optimizada	65
20	Distribución de frecuencias para las distancias de recorrido de líneas de transporte propuestas	70
21	Relaciones de puntos de conexión entre líneas	73
22	Comparación de saturación de vialidades con las líneas de transporte entre la situación actual y la propuesta.	74
23	Comparación de saturación de vialidades y cobertura de la zona urbana.	76
24	Comparación de saturación de vialidades y cobertura en la zona centro	77
25	Propuesta de ubicación de paradas	80
26	Tipo de unidades para las líneas troncales propuestas	81

27	Tipo de unidades para las líneas alimentadoras propuestas	82
28	Tipo de unidades para la línea especial propuesta	83

I. INTRODUCCION

I.1. CONCEPTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA E IMPORTANCIA DEL ESTUDIO

Desde la fundación de las primeras sociedades urbanas, se hizo necesario diferenciar las actividades humanas y surgió la especialización de oficios entre los cuales apareció la clase burocrática, encargada de administrar los asuntos del gobierno para el sostenimiento y desarrollo de los pueblos. Entre las obligaciones de dicha clase se encontraba la administración de los servicios públicos, tales como el establecimiento de mercados y comunicaciones. Con el aumento de la población y a lo largo de las diversas etapas de desarrollo tecnológico en las civilizaciones, los servicios fueron cada vez más demandados y así surgieron necesidades como la dotación de agua potable, educación, vías de transporte, medios de comunicación a distancia, electricidad y otros más específicos a determinadas sociedades (Fernández, 2002).

En México, el explosivo crecimiento de la población en la primera mitad del siglo XX, ha derivado en aglomeraciones urbanas que demandan los servicios públicos necesarios para su adecuado desarrollo y convivencia, lo cual se convierte en un problema para los gobiernos municipales responsables de ofrecerlos, pues los recursos económicos y humanos nunca son suficientes y deben establecerse prioridades para la atención de la población (INEGI 2008). Esto trae como consecuencia que algunas (o muchas) zonas de la entidad administrativa se vean limitadas de los servicios que deberían recibir, en beneficio de otras muy localizadas en donde sí se cuenta con ellos, y los criterios que se aplican para esta diferenciación son sobre todo de orden político, económico y espacial, dejando de observar el técnico (figura 1).

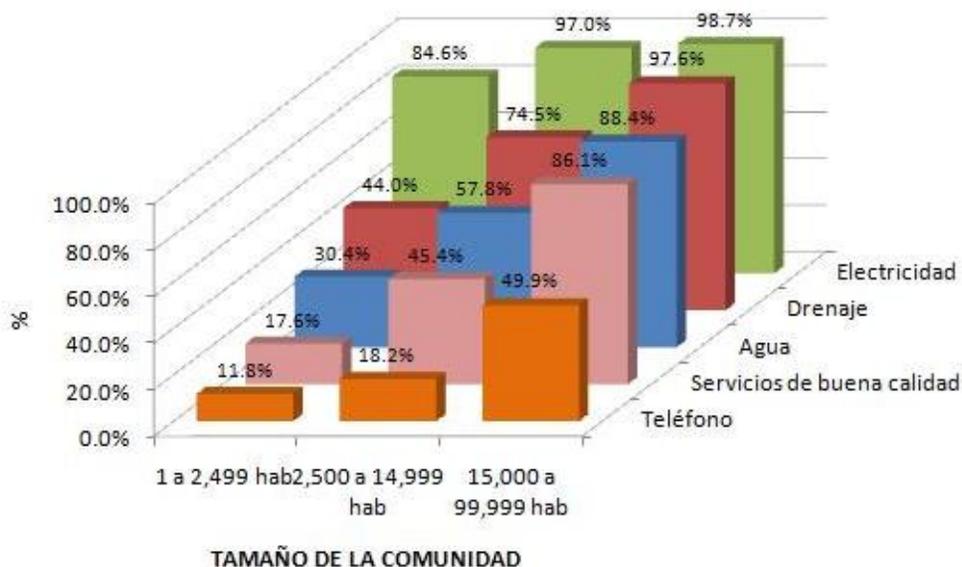


Figura 1. Porcentaje promedio de viviendas con servicios agrupados por tamaño de comunidad

El resultado de esto es que los centros de población se ven cada vez más densamente ocupados, tanto por el crecimiento natural de su población original como por procesos de emigración de las zonas rurales para poder acceder a los servicios públicos, principalmente de salud y educación (INEGI 2010). Es así también como se crea un círculo vicioso de crecimiento descontrolado en los centros urbanos, lo cual obliga a los gobiernos a destinar cada vez más recursos para satisfacer las necesidades de esas poblaciones, descuidando algunas zonas con menos presión demográfica.

La ciudad de Guanajuato no es ajena a estos procesos, pero además tiene particularidades que hacen aún más difícil que los servicios públicos sean suministrados adecuadamente. Entre esas se pueden mencionar: topografía irregular y accidentada, pocos accesos a la ciudad, vialidades interiores estrechas y con fuertes pendientes, rutas viales escasas y de un solo sentido, zona rural en el norte de difícil acceso, crecimiento explosivo de la mancha urbana en la zona sur que está absorbiendo a varias comunidades anteriormente

rurales (INEGI, 2005 y 2010). Además existe una desconexión física entre el centro histórico, Valenciana, la zona sur y Santa Teresa determinada por las cañadas, cerros y ríos que cruzan la ciudad. Otro punto particular es que el centro urbano tiene normativas estrictas para la ejecución de obras por ser zona protegida por el Instituto Nacional de Antropología e Historia como Patrimonio Cultural de la Humanidad y tiene una importancia turística sobresaliente. Esta ciudad es de gran importancia no solo por su tamaño, sino también por ser sede del gobierno estatal y en ella se encuentran la casi totalidad de las oficinas de los poderes ejecutivo, legislativo y judicial, más otras numerosas delegaciones del Poder Ejecutivo Federal, y también es sede de la Universidad de Guanajuato, la institución educativa más grande del Estado, lo cual significa que diariamente recibe una población flotante que representa un alto porcentaje de los habitantes del municipio y una de sus consecuencias es que los espacios para estacionamiento vehicular son insuficientes.

En la actualidad el desarrollo de la tecnología de la información ha generado numerosas y poderosas herramientas para ayudar a los técnicos y administradores a tomar mejores decisiones y optimizar la asignación de recursos. En el caso de los servicios municipales, resulta de vital importancia hacer uso de algunas de esas herramientas, mayormente cuando se tienen condiciones únicas y no se pueden aplicar soluciones generales que en otros municipios o ciudades han podido tener éxito.

Cabe resaltar además que el fin esencial de los servicios públicos es acercar a la población los elementos que le permitan desempeñar sus actividades con comodidad, seguridad y eficiencia, aumentando la calidad de vida y con ello lograr el desarrollo y bienestar común “en forma permanente, general, uniforme, continua, y de acuerdo al plan de gobierno municipal” (Ley Orgánica Municipal, 2009).

I.2. ANTECEDENTES

La asignación de recursos para la adecuada prestación de servicios municipales está claramente establecida en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en el Artículo 115 numerales III y IV, y en la Ley Orgánica Municipal para el Estado de Guanajuato en sus artículos 13, 14, 17, 18 y 69. Específicamente el artículo 69 numeral III inciso b) indica: “Instrumentar los mecanismos necesarios para ampliar la cobertura y mejorar la prestación de los servicios públicos”. Artículos 90 y 91 relativos a los Planes Municipales de Desarrollo, capítulo segundo relativo a los Concejos de Planeación de Desarrollo Municipales (COPLADEM).

Sin embargo no hay una metodología técnica específica establecida para cumplir con esas funciones y cada COPLADEM realiza su planeación de manera autónoma y aunque puede haber continuidad en las grandes actividades, la administración de los servicios públicos en detalle depende de los criterios particulares de cada administración, como resultado no hay una sistematización en el tratamiento de la información técnica establecida de manera institucional.

En lo correspondiente a los sistemas de información geográfica aplicados a servicios públicos municipales se cuenta con documentos referentes sobre todo a los sistemas e infraestructura de transporte, y relacionados con la accesibilidad de las localidades a la red carretera pavimentada.

Chías *et al.* (2001) presentan un procedimiento metodológico para valorar la accesibilidad de las localidades mexiquenses a las carreteras pavimentadas, realizando los cálculos con el apoyo de sistemas de información geográfica. Se encontró que el uso de estas herramientas es de gran valor para la cuantificación y cualificación de la accesibilidad de las comunidades. La inclusión de la variable de relieve en los modelos de elevación digital y sus productos derivados son de gran valor para el conocimiento real de la proximidad/

distanciamiento de las localidades a la red carretera. La inclusión de otras variables como carreteras de terracería, gasolineras y otros servicios deberán afinar aún más los resultados. Deben relacionarse con las condiciones socioeconómicas de los usuarios potenciales para conocer su importancia relativa y significado.

FHWA (1999) ha publicado varios documentos al respecto para aprovechamiento de las municipalidades en la identificación y aplicación de medidas de solución. Usó el sistema de información para la seguridad en carreteras del área de Wake County, North Carolina, usando el programa *Arc View*, con *Arc Info* como complemento. Se usaron las siguientes herramientas de análisis: intersecciones, tramos rectos, puntos de cruce, segmentos con alta ocurrencia de choques y corredores con alta ocurrencia de choques; el modelo ha permitido a los ingenieros de tránsito acceder a varios tipos de información desde su escritorio. Futuros trabajos deben extender este sistema a otros estados.

Rodríguez Moya (2005) propone una metodología para evaluar la “sostenibilidad de planes y programas de infraestructura del transporte”, integrando los sistemas de información geográfica a la evaluación ambiental estratégica, orientándolo a la evaluación de los sistemas de transporte por medio de la propuesta aplicada al el programa de carreteras de la Red Sur de la comunidad de Madrid, lo que permitirá cumplir con las evaluaciones ambientales establecidas en la Directiva 2001/42/CE. Concluye que el área de estudio y el tamaño de la celda de análisis tienen singular importancia. Así mismo, que los factores de aptitud e impacto a considerar están sujetos a cierto grado de subjetividad por lo que deben ser consensados por los distintos actores del procedimiento. Encuentra que la metodología es válida en las evaluaciones *multiobjetivo*.

Luna y Chías (1999) proponen el uso de un SIG para analizar la distribución de accidentes en carreteras, estudiando el caso de Tamaulipas, mediante la segmentación dinámica utilizando estadísticas de accidentes de tránsito, información sobre la calidad del pavimento y señalización del camino, así como algunos elementos de la infraestructura del

camino. Entre sus resultados, lograron obtener un mapa descriptivo donde se puede apreciar la distribución de accidentes con respecto a otras variables como el relieve o zonas agrícolas importantes, de tal manera que es posible optimizar recursos económicos aplicándolos en medidas de seguridad solo en los segmentos más significativos.

En el tema específico de desarrollo urbano y servicios municipales, Zhang (2004) ha estudiado el diseño de un sistema visual de información geográfica para apoyar la participación en la planeación urbana, en una propuesta que integra tecnologías de información por medio de internet, con sistemas de información geográfica y realidad virtual para facilitar la mayor participación y el proceso de planeación urbana, pero carecen de base teórica para los estudios, lo que puede debilitar su aplicación, por lo cual presenta un marco teórico basado en la teoría de los sistemas de aprendizaje. Una de sus conclusiones es que se requiere un largo tiempo para que personas no profesionales desarrollen las habilidades de los expertos en planeamiento urbano a través de un sistema visual de información geográfica. Demostró que la comprensión se facilita por medio de la visualización avanzada que permite el sistema desarrollado.

En cuanto a los estudios locales, aún cuando no se relacionan directamente con los servicios municipales, se encuentran algunas aplicaciones de los sistemas de información geográfica:

García *et al.* (1998) propone aplicar el enfoque de límites de transición gradual (“fuzzy”) en la identificación del impacto de los factores de estratificaciones sobre el rendimiento de los cultivos en el Distrito de Desarrollo Rural 004 Celaya, Gto para incrementar la resolución con respecto a los trabajos previos, presentar mayor desagregación de la aptitud y no depender de la percepción subjetiva de los especialistas por cultivo para definir los requerimientos de los mismos. Entre sus conclusiones encuentra que la base de datos desarrollada presenta un mayor detalle que las preexistentes, además de ser más confiable. Asimismo sus modelos de regresión múltiple son muy acertados.

García *et al.* (2002) aprovecha los SIG para delimitar los cambios en el uso del suelo agrícola en el Estado de Guanajuato en el período de 1970 a 1997, delimita cuatro clases de uso del suelo y la relaciona con el uso anterior mediante el sistema *Arc View* clasificando imágenes de satélite, cartas topográficas, *ortofotos* digitales y levantamientos de campo con GPS. Entre sus conclusiones encuentran que identificó una ampliación de la frontera agrícola en la década de los ochenta, la cual se estabilizó en los noventa, y actualmente se encuentra en disminución. Considera que la localización y cuantificación de los cambios en el uso del suelo y su posterior relación con su aptitud para la agricultura permitirá aportar más elementos de juicio para soportar acciones de reconversión productiva.

I.3. JUSTIFICACIÓN

Se propone esta investigación partiendo del enfoque en el que con un adecuado inventario de la infraestructura y administrado con un programa integrado en un sistema de información geográfica, se puede identificar las condiciones y necesidades de los servicios públicos, destinado en el presente trabajo al de transporte de autobuses urbanos, cuya atención pueda optimizarse por medio del adecuado uso de esta herramienta.

Se pretende que este sistema sirva como base general para que de acuerdo con la función de cada dependencia municipal, se agregue la información pertinente y sirva para los fines específicos en cada caso, tal y como pueden ser: recolección de basura, transporte urbano, administración de pavimentos, planeación de vialidades, mejoramiento de caminos rurales, alumbrado público, escuelas, centros de salud, operativos de seguridad pública, zonas de riesgo, entre otros.

El objetivo entonces es diseñar un modelo de optimización para la prestación de servicios públicos en el municipio de Guanajuato utilizando un sistema de información geográfica y un inventario actualizado de la red vial municipal.

Se espera además que aún siendo un objetivo ajeno a este trabajo, la optimización del transporte urbano de pasajeros disminuya el uso generalizado de automóviles, liberando parcialmente las vialidades y reduciendo la necesidad de estacionamientos.

Igualmente se podrá identificar la conveniencia de utilizar medios alternativos de transporte urbano diferentes a los autobuses, que sean acordes con la zona urbana y su importancia desde otros puntos de vista, específicamente el arquitectónico o el histórico. Existen sectores de la población que usan regularmente el sistema de transporte público, como las personas que no pueden conducir (discapacitados, menores de 16 años, inmigrantes), población de bajos recursos, estudiantes, empleados y aquellos que consideran estresante manejar (Lytman, 2010). Newman y Kenworthy (2007) reportan porcentajes de desplazamientos en transporte público con respecto al motorizado del 20% o más en ciudades europeas, del 50% en ciudades de Europa oriental; y en ciudades asiáticas ricas como Hong Kong llega al 73%. Registran que limitar el uso del coche para reducir la congestión es una solución sostenible, con ejemplos como Londres donde se lograron reducciones del 25% en el tráfico de horas punta. Este y otros ejemplos soportan la tesis de considerar el transporte como “espacio público” donde se conceda prioridad a la bicicleta y al peatón.

Se podrá obtener reducción de costos de transporte para los pasajeros al integrarse a un sistema con un mismo boleto, se minimizarán tiempos inactivos o de poca ocupación de las unidades al tener líneas de uso general para cada autobús que pase por un punto dado en vez de provocar que el usuario espere el que lo lleve a su destino entre varios que pasan por su parada, lo que también será en beneficio de los concesionarios del transporte pues al tener líneas más eficientes los costos se reducen y las utilidades se incrementan. Según estadísticas en Estados Unidos la mayoría de pasajeros son de bajos recursos, que representan 63% en sistemas de transporte pequeños; El 70% de los pasajeros son usuarios frecuentes; los empleados, estudiantes y usuarios que van de compras suman el 75% del

total; el 33% de los usuarios pueden optar por manejar su vehículo; la manera usual de llegar a las paradas de autobús es caminando, solo llegan en auto el 6.2% de los usuarios. Finalmente, si no hubiera servicio de transporte, el 23% manejaría, el 22% viajaría con alguien más, el 12% tomaría taxi o tren, el 21% no viajaría, el 18% caminaría y el 4% iría en bicicleta (Lytman, 2010).

Estos resultados permitirán obtener otros beneficios adicionales cuantificables, como la reducción de emisiones contaminantes mejorando la calidad del aire, el rápido acceso de los habitantes a los centros de trabajo y escuelas al eliminarse los congestionamientos, rápido acceso y salida de los lugares de aglomeración urbana en caso de emergencia, y podrá establecerse como criterio de atención prioritaria a las necesidades de mantenimiento y modernización de las vialidades municipales, entre otras.

En particular, la ciudad de Guanajuato resiente diversos problemas en el servicio de transporte urbano de pasajeros, que se pueden agrupar en las siguientes clases:

- Frecuencia de paso: el paso de autobuses es incierto y escaso para cada línea en particular, y en cambio hay saturación en las paradas de la zona centro por exceso de unidades con diferentes destinos.
- Servicio dentro de las unidades: los autobuses circulan con sobrecupo, los operadores conducen sin cuidado ni respeto por los pasajeros, crean riesgo por competir para llegar a la siguiente parada antes que el de otra empresa concesionaria. Tienen frecuentemente un aparato de radio con música y ruido a volumen alto.
- Cobertura: las líneas actuales son insuficientes e ineficientes. Hay zonas donde el paso de autobús es cada hora o menos frecuente, mientras que hay vialidades en la zona centro que están congestionadas y el traslado por autobuses es demasiado tardado. Muchos usuarios necesitan trasladarse entre puntos alejados, y deben usar líneas con trayectos lentos pasando por puntos intermedios sin necesidad.

- Tipo de unidades: los autobuses son demasiado grandes para las calles de la ciudad. Las unidades no son confortables, normalmente no están limpias. Aunque se han comenzado a introducir unidades menores (con capacidad de 12 a 15 ocupantes), su número aún es reducido en comparación con las unidades grandes.
- Capacidad vial: hay puntos específicos de la ciudad donde el ancho de la calle no permite el paso simultáneo de autobuses en ambos sentidos, y sin embargo hay líneas que transitan por ellos, con el consecuente congestionamiento.
- Información: las paradas no cuentan con información de líneas ni horarios, lo cual crea incertidumbre y confusión en los usuarios, principalmente los foráneos o turistas.

En este aspecto, Bus Priority Team (2006) indica que la distancia ideal entre paradas de autobús es aproximadamente 400 m, aunque distancias menores en centros de ciudad y áreas residenciales pueden ser necesarias para atender requerimientos de los pasajeros. Darnell *et al.* (2006) establece que la distancia entre paradas con base en la distancia de camino a pie en zonas comerciales es 1,000 pies (305 m), en zonas de alta densidad de 1,500 a 1,800 pies (450 a 550 m) y en zonas urbanas con densidad de población media y baja de 1,800 a 2,600 pies (550 a 800 m). Para México, SEDESOL (2009) establece que en zonas habitacionales deberá haber una parada por cada 400 m y en zonas comerciales una parada cada 200 m.

I.4. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

I.4.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un modelo de optimización para la prestación del servicio de transporte de autobuses de pasajeros municipal en Guanajuato capital utilizando un sistema de información geográfica y un inventario actualizado de la red vial.

I.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las variables que intervienen en la prestación del servicio de transporte de autobuses de pasajeros y determinar su importancia en el proceso
- Establecer indicadores de desempeño en la aplicación del transporte de autobuses de pasajeros en el municipio con especial énfasis a la cobertura espacial.
- Crear una base de datos que pueda actualizarse de acuerdo con la función de las diferentes áreas de la administración municipal para que cada una cuente con su propio modelo de optimización.
- Relacionar las diferentes variables establecidas con las bases de datos mediante modelos aplicados en plataforma SIG.

I.4.3. HIPOTESIS

La administración del funcionamiento y eficiencia del servicio de transporte de autobuses de pasajeros municipal de Guanajuato capital, puede ser optimizada con la implementación de un sistema de información geográfica y un inventario de infraestructura vial.

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

La administración de los servicios públicos municipales en México, no está regulada por una metodología específica por lo cual cada gobierno administra sus servicios de acuerdo con sus alcances económicos, personales y de infraestructura instalada. Además, las políticas y procedimientos varían no solo en cada municipio sino también en cada administración, lo que genera una problemática relacionada con la planeación y administración de los servicios municipales.

Por lo tanto, la creación de procedimientos apegados a los marcos normativos y técnicos para establecer una metodología particular, resulta importante para el manejo y la planeación de los servicios públicos.

II.1. SERVICIOS MUNICIPALES

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos establece en su Artículo 115: “II. Los municipios estarán investidos de personalidad jurídica y manejarán su patrimonio conforme a la ley. Los ayuntamientos tendrán facultades para aprobar los reglamentos, circulares y disposiciones administrativas que organicen la administración pública municipal. III. Los Municipios tendrán a su cargo las funciones y servicios públicos siguientes: a) Agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales; b) Alumbrado público. c) Limpia, recolección, traslado, tratamiento y disposición final de residuos; d) Mercados y centrales de abasto. e) Panteones. f) Rastro. g) Calles, parques y jardines y su equipamiento; h) Seguridad pública. Los Municipios, previo acuerdo entre sus ayuntamientos, podrán coordinarse y asociarse para la más eficaz prestación de los servicios públicos o el mejor ejercicio de las funciones que les correspondan.”

La Ley Orgánica Municipal para el Estado de Guanajuato refiere en el artículo 69: “Los ayuntamientos tendrán las siguientes atribuciones: I. En materia de gobierno y régimen interior: b) Aprobar funciones y servicios públicos de su competencia r) Intervenir en la formulación y aplicación de programas de transporte público de pasajeros cuando aquellos afecten su ámbito territorial III. En materia de servicios públicos: a) Prestar servicios públicos a los habitantes del Municipio; b) Instrumentar los mecanismos necesarios para ampliar la cobertura y mejorar la prestación de los servicios públicos; d) Intervenir en los términos de las leyes de la materia, en la formulación y aplicación de los programas de transporte público de pasajeros, cuando afecten su ámbito territorial. En el Artículo 140 indica que: “Los ayuntamientos vigilarán que la prestación de los servicios públicos, se realice en igualdad de condiciones a todos los habitantes del municipio, en forma permanente, general, uniforme, continua, y de acuerdo al plan de gobierno municipal” y en el Artículo 141 establece cuáles son los servicios públicos que tendrán a su cargo los ayuntamientos, los cuales son: I. Agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales II. Alumbrado público; III. Limpia, recolección, traslado, tratamiento, disposición final y aprovechamiento de residuos.. IV. Mercados y centrales de abastos; V. Rastro; VI. Calles, parques, jardines, áreas ecológicas y recreativas y su equipamiento.. VII. Seguridad pública, en los términos del artículo 21 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos; y el de policía preventiva VIII. Tránsito y vialidad; IX. Transporte urbano y suburbano en línea fija X. Estacionamientos públicos XI. Panteones XII. Educación XIII. Bibliotecas públicas y Casas de la Cultura XIV. Asistencia y salud pública XV. Protección civil XVI. Desarrollo urbano y rural; y XVII. Los demás que señalen las leyes.

La Ley de Desarrollo Urbano para el Estado de Guanajuato establece en el Artículo 5 que “Los lineamientos y políticas para el desarrollo urbano de los centros de población, tenderán a mejorar el nivel y calidad de vida de la población mediante: II.- La planeación de una distribución adecuada de servicios básicos, vivienda, equipamiento e infraestructura urbana y actividades productivas”

En la Ley de Tránsito y Transporte del Estado de Guanajuato se definen en el artículo 17 las facultades y obligaciones del director general de tránsito y transporte, las cuales son entre otras: Proponer al secretario de gobierno y al gobernador, por conducto del primero, las medidas que considere necesarias para optimizar los servicios de tránsito y transporte en la entidad; y Planear y coordinar el tránsito y vialidad en las vías públicas del estado, ejecutando acciones tendientes a su mejoramiento; en tanto que en el artículo 78 se indica que el servicio público de transporte urbano en ruta fija se prestará con apego a los itinerarios, unidades, rutas, horarios, terminales y frecuencias que establezca la dependencia u organismo encargado del transporte en el municipio.

En el Plan de Gobierno Municipal de Guanajuato capital 2009 – 2012 se propone en el apartado 6.3 Servicios públicos oportunos: Favorecer la prestación de los servicios públicos que competan a la administración municipal, con mayor eficiencia, constancia, oportunidad, buscando la coparticipación entre gobierno y sociedad en beneficio de la población guanajuatense y de sus visitantes. Líneas de acción: Diseñar estrategias técnico-operativas para dirigir la ejecución de servicios públicos municipales adscritos a las áreas de limpia, parques y jardines, rastro, panteones, mantenimiento y la unidad auxiliar de lavado y riego. Propiciar el transparente manejo de los recursos financieros y materiales que se utilizan en la prestación de los servicios públicos, buscando su aplicación en programas definidos y de mayor impacto a la ciudadanía y a sus visitantes; mediante una planeación estratégica orientada al beneficio social. Implementar la elaboración de convenios ciudadanos para fomentar la participación ciudadana en la prestación de los servicios públicos. Administrar, ejecutar, controlar y supervisar los proyectos, programas, operativos y acciones especiales diseñadas por la coordinación general, mediante la administración de programas especiales... Buscar la participación de terceros para coadyuvar en la prestación de los servicios públicos.

II.2. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Un sistema de información geográfica es la combinación de cuatro componentes: dispositivos (máquinas electrónicas), programas (SIG), el conjunto de datos geográficos (la base de datos espaciales) y personas expertas en el manejo de los tres anteriores (Moreno, 2006).

El sistema puede ofrecer prestaciones que se pueden agrupar en 6 tipos: 1.- Características y rasgos del territorio, 2.- Hechos concretos 3.- Distribución espacial de un fenómeno, 4.- Tendencias o cambios temporales que han ocurrido en el territorio, 5.- Qué ruta a seguir para un desplazamiento, y 6.- Qué pasaría en el territorio si ocurre tal condición (Moreno, *ibíd.*).

La ingeniería es una de las ramas del conocimiento donde más se ha encontrado utilidad de los sistemas de información, y específicamente en lo que corresponde al transporte, hay varias tesis y publicaciones técnicas en Estados Unidos, Canadá, Europa, Asia y América Latina. Por ejemplo, Bocco (1999) estudia el desarrollo de los sistemas de información geográfica en la frontera norte de México desde una perspectiva académica, como instrumento básico de la gestión ambiental. Se evaluaron aplicaciones de SIG desarrolladas durante un lapso de 20 meses, enfoque que probó ser eficiente para las características y necesidades del estudio. Concluye que hacen falta técnicos capacitados en SIG y percepción remota, así como en disciplinas del medio ambiente. Además se detectaron cuellos de botella relacionados con la complejidad de las configuraciones equipo – programa, y en las aplicaciones concretas.

Un ejemplo del uso de los sistemas de información geográfica en una ciencia donde mucho se han aprovechado, como lo es la ecología, está en el trabajo de Salinas *et al.* (2002) para identificar y clasificar los humedales interiores en el estado de Tamaulipas, buscando reflejar el dramático desarrollo de la agricultura en el norte y centro de México en las

décadas recientes y su efecto en las poblaciones de aves acuáticas migratorias. Su metodología incluyó el procesamiento de siete imágenes digitales *Landsat ETM* que cubren la totalidad de la entidad, y la cobertura se obtuvo del inventario forestal digital. Concluye en la importancia de identificar los humedales del interior de la entidad, pues la información oficial solo considera las zonas costeras. El proyecto conforma un marco de referencia para las acciones de conservación de estos ecosistemas. Se visualiza una segunda etapa de interacción con organizaciones no gubernamentales y dueños de los predios donde se localizan los humedales para iniciar un programa piloto de conservación. La utilización de SIG y PR (percepción remota) permitieron el manejo eficiente de la información digital cartográfica disponible.

En la actualidad el papel de la información resulta esencial para tomar decisiones adecuadas, tal y como presenta Moreno (2006), quien afirma que la manifestación más tangible de ello se ve en el esfuerzo e inversión que empresas, gobiernos, organizaciones o ciudadanos destinan a diseñar, implantar y mantener sistemas de información, como unidades funcionales que con los medios apropiados se dedican a recopilar, almacenar, tratar o transformar, difundir o vender información. La informática y las telecomunicaciones han establecido un nuevo estadio en el que los ordenadores y las redes de comunicación han asumido un papel imprescindible para esto.

Para Goodchild (2009), en las últimas cuatro décadas se han hecho grandes progresos para adquirir, mostrar, analizar y compartir información geográfica. Las tecnologías espaciales han alcanzado significación fundamental, y forman ahora un área conocida como ciencias de la información geográfica, ciencia *geoespacial*, *geoinformática*, *geomática* y ciencia espacial. Ahora se les reconoce como un campo de investigación y un subconjunto bien definido de las ciencias de la información.

Siguiendo con Moreno (2006), un SIG no es meramente un programa de cartografía, ni uno tipo CAD. Lo específico de éste es su capacidad para almacenar grandes cantidades de

información *georeferenciada* y su potencia para el análisis de la misma. La concepción de la tecnología SIG es el resultado de un proceso de acumulación de innovaciones conceptuales y procedimientos que han brindado prestaciones cada vez superiores. El manejo de los programas se ha venido diseñando de tal manera que la interacción es progresivamente más amistosa.

En la medida en que la información con que cuenta el hombre se incrementa en cantidad, se hace necesario manejarla adecuadamente para que, sin importar que sea de gran tamaño, tenga las características de calidad necesarias para su uso eficiente. Esto se convierte en una lucha contra el tiempo, porque la información se va degradando, llegando a ser obsoleta, y debe ser utilizada oportunamente para que con ella se puedan tomar decisiones apropiadas.

Pero más allá de la simple aplicación informática, un SIG encierra un modelo de la realidad sobre el territorio, con miras a unas finalidades concretas, y por tanto de acuerdo con reglas o criterios definidos. La información como en todos los modelos, es selectiva, buscando retener los aspectos de interés y desechando otros. Por lo tanto de acuerdo al campo de interés concreto, la elección de los aspectos de interés varía.

El crecimiento en el uso y sofisticación de estos sistemas a conducido a un nuevo interés académico que resulta en una comunidad de investigadores vigorosa y en expansión, como refiere Clarke (2002), A pesar de algunas carencias en definiciones formales, categorizaciones, terminologías y estructuras de datos estandarizados, muchos trabajos publicados muestran un considerable nivel de trabajo interdisciplinario.

Sheppard (2001) menciona que han madurado las evaluaciones críticas hacia la naturaleza y limitaciones de los SIG como una tecnología social, desde la rígida oposición entre los críticos y los desarrolladores, hacia un compromiso más constructivo. La investigación actual en esta área se enfoca tanto en la influencia de la sociedad en los SIG

como en la influencia de los SIG en la sociedad. Las últimas rutas se refieren a los límites de la representación del mundo con los SIG, los límites en el acceso y la pertinencia de estas tecnologías, las implicaciones legales y éticas de su uso, y su aplicabilidad para redireccionar las desigualdades sociales y geográficas. Las áreas de investigación emergentes incluyen el potencial para desarrollar tecnologías digitales que convierten el conocimiento geográfico en muchas otras maneras diferentes a lo que hace el *software* de SIG, y la naturaleza y permeabilidad de la “división digital”, que crea un acceso desigual para la utilización de los SIG.

II.3. MODELOS DE ADMINISTRACIÓN DE SERVICIOS MUNICIPALES

Fernández (2002) establece una clasificación de modelos que pueden ser del ámbito del derecho público (administración municipal centralizada, órganos municipales desconcentrados, órganos municipales descentralizados, empresas de participación municipal mayoritaria, asociaciones intermunicipales, convenios entre municipio y estado, o fideicomisos públicos), del derecho social (personas morales en la vía de concesión o permiso, incluyendo sociedad cooperativa), o insertas en el derecho privado (concesión, locación, subrogación, gestión interesada, gestión de servicios públicos impropios por medio de particulares).

De manera general, para mejorar la gestión municipal, existe el apoyo de las guías de los sistemas de gestión de calidad, de las que en países como Chile se han hecho esfuerzos para adaptarlos especialmente a los servicios municipales (Ministerio del Interior, 2007). En el modelo de gestión de calidad se establecen criterios, sub criterios y elementos de gestión. En el criterio: 5. prestación de servicios municipales, sub criterio 5.2 gestión de los procesos principales asociados a los servicios municipales, se establece dentro de los elementos de

gestión, la determinación de los objetivos e indicadores de desempeño del servicio y sus procesos.

Prado y García (2004) presentan “una visión global de los indicadores de gestión como herramienta para evaluar la actuación municipal”. La directriz principal se refiere a que se deben aplicar los criterios de economía, eficiencia y eficacia. Refieren a varios autores que han establecido indicadores, entre los cuales se tienen: *input*, *output*, *outcome*, impacto, calidad, actividad, proceso, demanda, economía, eficiencia, eficacia, coste–eficacia, entorno, y otros. También refieren que existen organismos normativos sobre el desarrollo de indicadores de gestión, en países de Europa Occidental, Estados Unidos y Canadá, Australia y Nueva Zelanda, y Chile como único país en desarrollo.

En cuanto a la implementación de indicadores, Arriagada (2002) propone una metodología basada en la administración de procesos para definir indicadores en distintos ámbitos de la gestión municipal. Muchos de ellos son coincidentes con los anteriormente mencionados.

Fernández (2002) reporta que el servicio público de transporte colectivo urbano se proporciona en México, mediante organismos públicos descentralizados, empresas de participación estatal, y particulares bajo el régimen de concesión o permiso, ya sea como personas físicas u organizados en sociedades cooperativas o mercantiles. No existe un criterio legal basado en motivos políticos, económicos, jurídicos o de otra índole, que predetermine en qué servicios públicos es utilizable cierta forma de gestión y en cuáles son empleables las demás; por consiguiente las decisiones son coyunturales y arbitrarias.

A pesar de que en México no hay modelos de uso general u oficiales para la administración de los servicios municipales, existen proyectos y acciones específicas donde se plantean metodologías, indicadores y procesos, muchos de ellos en América Latina, en donde las condiciones sociales y económicas son comparables con la situación de México.

Algunos de estos han obtenido resultados positivos que se han extendido como arquetipos de éxito para la administración.

El ejemplo más claro de un modelo exitoso lo constituye el llamado BRT o BTR (Transporte rápido en autobús), que se ha implementado en ciudades como Curitiba, Brasil en 1974; Bogotá, Colombia; Beijing, China; Brisbane, Australia; León y Ciudad de México, México. Sus principales características son que es un sistema de transporte masivo, rápido, ordenado y seguro; cuenta con infraestructura propia como carriles exclusivos, estaciones y terminales; utiliza autobuses de gran capacidad así como tecnología de punta; y se complementa con otros medios de transporte. Se hace énfasis en que la clave de su éxito radica en la planeación, organización y control de la operación, así como en su integración urbana (Molina, 2008). Los indicadores de desempeño que propone se refieren a la eficacia entendida como grado de cumplimiento de los objetivos planteados; eficiencia, que es la relación entre la producción física de un bien o servicio y los insumos o recursos que se utilizaron (gasto en bienes o servicios, dotación de personal, entre otros); economía, expresada como la capacidad de una institución para generar y movilizar adecuadamente los recursos financieros a favor de su misión institucional (por ejemplo, capacidad de autofinanciamiento); calidad del servicio, o la capacidad de la institución para responder en forma rápida y directa a las necesidades de sus clientes, usuarios o beneficiarios (por ejemplo oportunidad, accesibilidad, precisión y continuidad en la entrega del servicio, comodidad y cortesía en la atención).

En contraparte, también existen modelos fallidos en la gestión de servicios, un ejemplo de ello lo muestra Kralich (2002) para el servicio de transporte público en el Gran Buenos Aires, implementado en 1996. Entre los factores de fracaso menciona la centralización del cobro, reticencia de los operadores a eliminar el cobro inmediato, la falta de un boleto único multimodal, exclusión de la población de los procesos de decisión, o desigual en la distribución del transporte

III. METODOLOGIA

El modelo general de esta propuesta consiste en un sistema integrado en donde se logra la mayor cobertura espacial posible, minimizando al mismo tiempo la repetición de pasos de diferentes líneas, para permitir que el usuario aborde la unidad que pase por su parada sabiendo que llegará al lugar deseado o a una estación de transferencia donde podrá abordar la siguiente a su destino.

Para lo anterior se ha conformado una macro estructura mediante líneas principales troncales que conectan los extremos del centro de población, y el intercambio de pasaje se hace en puntos específicos definidos como centrales de transferencia. Adicionalmente y para cubrir el resto de la zona urbana, se diseñaron líneas complementarias o alimentadoras que recorren zonas específicas y llegan a una o en casos particulares a dos centrales de transferencia, para que el usuario pueda intercambiar línea y llegue a su destino. El usuario deberá poder trasladarse dentro del sistema con un solo pago de boleto, siempre y cuando haga los transbordos en las estaciones de transferencia.

Otro de los conceptos básicos del diseño consiste en que el recorrido de las unidades busca en el caso de las líneas principales, llegar en forma lo más rápida posible a los puntos extremos que conecta, y en el caso de las líneas alimentadoras, tener la cobertura espacial suficiente y al mismo tiempo trasladar de manera rápida al usuario hacia las estaciones de transferencia o en sentido contrario llegar rápidamente a los destinos.

El modelo se desarrolla específicamente para atender el sistema de líneas urbanas, aunque en el caso de las suburbanas, las líneas se deberán modificar para llegar a la central de transferencia más cercana y así el usuario pueda integrarse en el sistema.

A pesar de basarse en conceptos similares, por las características específicas de la ciudad el sistema propuesto no corresponde completamente con un TRB, pues carecerá de elementos como carriles exclusivos o andenes elevados, aunque tendrá otros como tarifas

prepagadas, servicios frecuentes, prioridad de paso en cruces, gran capacidad y sistemas inteligentes de control (Newman y Kenworthy 2007).

Los beneficios directos son:

- Reducción del tiempo de traslado para los habitantes en la zona urbana.
- Cobertura suficiente para hacer atractivo al usuario abordar el sistema.
- Esta mayor cobertura hace más seguro el acceso de las personas en autobús a sitios alejados del centro a donde actualmente deben llegar a pie.
- Descongestión de vialidades causada por paso de autobuses al distribuir las líneas por diferentes calles.
- Las principales calles de la ciudad desde el punto de vista de imagen urbana se liberan del paso frecuente de autobuses.
- Los operadores del sistema de transporte verán incrementados los ingresos por pasaje al asegurar el abordaje por eliminarse la competencia entre líneas en la misma parada.
- Será más fácil para la autoridad de tránsito y transporte regular cada línea en forma específica al no haber superposición de líneas por el mismo tramo.

Además se espera obtener los siguientes beneficios indirectos:

- Disminuirá el uso del vehículo particular, con lo que se descongestionarán las vialidades no solo de autobuses sino de todo tipo de automotores.
- Disminuirá la demanda de cajones de estacionamiento.
- Disminuirá la contaminación del aire al reducirse la cantidad de vehículos circulando.
- Los peatones podrá usar las calles con mayor libertad y seguridad, especialmente en el centro histórico.
- La zona urbana podrá ser mejor regulada y más accesible a la autoridad para eventos como paso de ambulancias, protección civil o seguridad pública al disminuir el flujo vehicular.

- Se brinda un criterio técnico objetivo para la planeación y programación de obras de rehabilitación en la infraestructura vial, al poder determinar el impacto social de mantener en buenas condiciones principalmente las vialidades que son ruta de transporte.
- Se brinda un criterio geográfico objetivo para la determinación de los sitios de ubicación y cobertura de elementos de equipamiento urbano, que sea armónico con el desarrollo de la infraestructura vial.
- La ejecución de obras de mantenimiento y rehabilitación de vialidades no afectará todo el sistema de transporte, principalmente cuando se hacen en la zona centro, pues al haber pocas líneas por cada calle, solo será necesario redireccionar las que sean afectadas.

III.1. DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE ADMINISTRACIÓN DEL TRANSPORTE PÚBLICO MUNICIPAL EN GUANAJUATO CAPITAL

El primer paso en el desarrollo del trabajo fue la recopilación de datos de cobertura de los servicios municipales en el área específica de líneas de transporte público de pasajeros regulado por la Dirección de Tránsito y Policía Vial.

La dirección de Policía Vial y transporte municipal ha establecido un sistema de transporte público de pasajeros de acuerdo con líneas de cobertura para las comunidades más importantes, y dentro de la zona urbana hacia las colonias y zonas de la mayor parte de la mancha urbana. En la tabla 1 se muestra un ejemplo de "Derrotero" que describe una de las líneas. Igualmente en la figura 2 se representa la red vial principal y secundaria de la zona urbana de Guanajuato capital.

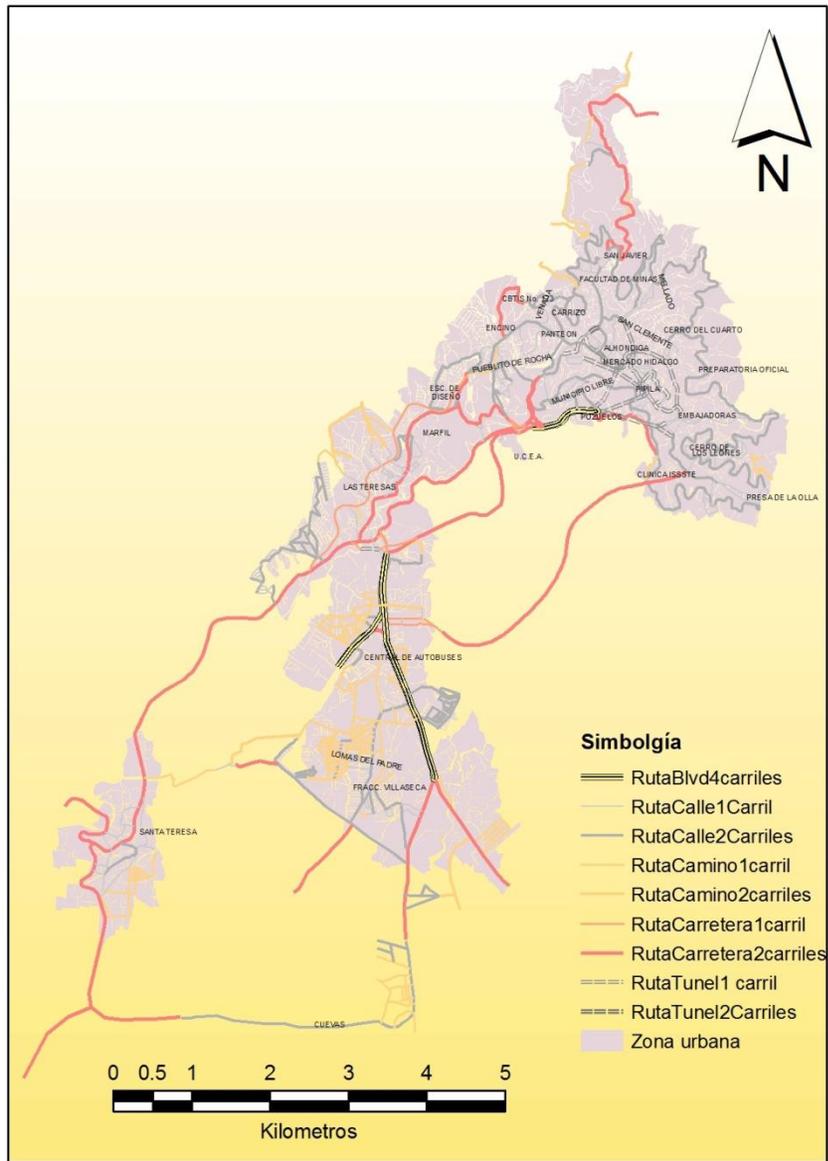


Figura 2. Red vial Principal y secundaria de Guanajuato capital.

Cabe mencionar que la Dirección revisa constantemente el sistema, de modo que con cierta regularidad se implementan cambios en número o calidad de las unidades, derroteros

u horarios. La información analizada en el presente trabajo corresponde a la actualización realizada por la Dirección en julio de 2010.

En total existen 23 líneas suburbanas y 23 urbanas (ver tablas 2 y 3). Además de los datos anteriores, la Dirección cuenta con un diagnóstico particular de los puntos conflictivos de cruce vehicular: intersecciones y glorietas, los cuales se indican en la tabla 4.

En el diagnóstico de la dirección de tránsito y policía vial, las glorietas con nivel de servicio E y F requieren modificar sus características geométricas pues el nivel de saturación llega a más del 85% (Datos de la Dirección de Tránsito y Policía Vial 2010)

Tabla 1. Ejemplo de identificación de líneas urbanas
ANÁLISIS OPERATIVO DE LÍNEAS "DERROTEROS"
LÍNEA: 15 CUEVAS - GUANAJUATO

SALIDA		RETORNO	
Ini	CUEVAS	Ini	PARDO ESQ. JUAREZ
Fte	SANTA CATARINA DE CUEVAS	Izq	TEPETAPA
Der	ENTRONQUE CARR. IRAPUATO - GUANAJUATO	Izq	BANQUETA ALTA
Fte	SANTA TERESA	Fte	MIGUEL HIDALGO
Fte	CARR. GUANAJUATO SILAO (LIBRE)	Fte	GLORIETA NORIA ALTA
Izq	CARR. MARFIL - GUANAJUATO	Der	CARR. MARFIL - GUANAJUATO
Izq	GLORIETA NORIA ALTA	Der	CARR. GUANAJUATO - SILAO (LIBRE)
Fte	MIGUEL HIDALGO	Fte	SANTA TERESA
Der	CALLE DEL CANTADOR	Fte	CARR. IRAPUATO - GUANAJUATO
Fin	PARDO ESQ. JUAREZ	Izq	CAM. A STA. CATARINA DE CUEVAS
		Fin	CUEVAS

Ini= Inicio	Fin= Terminación	Izq. = Vuelta Izquierda	Der = Vuelta a la Derecha	Fte= De Frente	"u"= Vuelta en U
-------------	------------------	-------------------------	---------------------------	----------------	------------------

DATOS DE LA LÍNEA

SERVICIO PÚBLICO DE TRANSPORTE Urbano de pasajeros de Segunda Clase Guanajuato, Gto.		HORARIO DE SERVICIO	FRECUENCIA DE VEHICULOS		
			Periodo Máxima Dem.	Periodo Valle	Periodo Nocturno
ORIGEN:	CUEVAS	06:00 - 22:00	RoI de Servicio	RoI de Servicio	
DESTINO:	GUANAJUATO				
LONGITUD DE RECORRIDO: 33+000 KMS.		TIEMPO DE RECORRIDO:71 MINS.			

* Fuente: Dirección de Tránsito y Policía Vial de Guanajuato capital

Tabla 2. Resumen de líneas suburbanas

LÍNEA, INICIO - FIN
Línea: 1 Valenciana - Fracc. Cúpulas
Línea: 2 Guanajuato – SEP - Inst. Tutelar De Menores
Línea: 3 Guanajuato - Puentecillas (Vía Marfil)
Línea: 4 Coyote - Tejaban - Guanajuato - Marfil - Capulín De Bustos
Línea: 5 Presa De La Olla - Cuevas
Línea: 6 Guanajuato - Cajones (Vía Marfil)
Línea: 7 Guanajuato - Maluco (Vía Marfil)
Línea: 8 Guanajuato - Paso De Perules (Vía Marfil)
Línea: 9 Guanajuato - San José De Cervera (Marfil)
Línea: 10 Central De Autobuses - Santa Rosa
Línea: 11 Guanajuato - La Trinidad (Vía Marfil)
Línea: 12 Guanajuato - Saucedá
Línea: 13 Guanajuato - Saucedá (Via Marfil)
Línea: 14 Capulín De Bustos - Guanajuato
Línea: 15 Cuevas - Guanajuato
Línea: 16 El Cubo - Embajadoras - Mercado Hidalgo
Línea: 17 El Chapín - Tejaban - Guanajuato
Línea: 18 Fracc. Mártires 22 De Abril - Fracc. El Campanario - Guanajuato
Línea: 19 Llanos De La Fragua - Guanajuato
Línea: 20 Guanajuato - Mineral De La Luz
Línea: 21 Puentecillas - Cuevas - Guanajuato
Línea: 22 Lomas De Marfil li - Puentecillas
Línea: 23 La Presita - Cajones

* Fuente: Dirección de Tránsito y Policía Vial de Guanajuato capital

Tabla 3. Resumen de líneas urbanas

LÍNEA, INICIO - FIN
Línea: 1 Las Teresas - Cerro Del Cuarto
Línea: 3 Alhóndiga - Cerro Del Cuarto - (Vía San Clemente)
Línea: 4 Alhóndiga - Cerro Del Cuarto - (Vía Fovissste)
Línea: 5 Embajadoras - Pípila ISSSTE
Línea: 6 Presa De La Olla - Panteón
Línea: 7 Presa De La Olla - San Javier
Línea: 8 Presa De La Olla - Pueblito De Rocha
Línea: 9 Presa De La Olla - Carrizo - Venada - CBTyS
Línea: 10 Embajadoras -Pozuelos - ISSSTE
Línea: 11 Presa De La Olla -Encino
Línea: 12 Central De Autobuses - Embajadoras (Directo)
Línea: 13 Central De Autobuses - Embajadoras (Via Marfil)
Línea: 14 Central De Autobuses - Mercado Hidalgo (Directo)
Línea: 15 Central De Autobuses - Presa - Cerro De Los Leones
Línea: 16 Central De Autobuses - Embajadoras (Pozuelos)
Línea: 17 Lomas Del Padre - Guanajuato
Línea: 18 Fracc. Villaseca - Guanajuato (Directo)
Línea: 19 Ucea - Mercado Hidalgo - Embajadoras
Línea: 20 Escuela De Diseño - Preparatoria Oficial - Mercado Hidalgo
Línea: 21 Colita Del Encino - Mellado
Línea: 22 Escuela De Minas - Municipio - Libre
Línea: 23 Col. Las Aguilas - Mercado Hidalgo

* Fuente: Dirección de Tránsito y Policía Vial de Guanajuato capital

Tabla 4. Resumen de puntos viales conflictivos

	Ubicación	Volumen hmd	Hora máxima demanda	Nivel de servicio
Intersecciones	5 de mayo	869	9:00 – 10:00	C
	Juárez - Alonso	759	8:00 – 9:00	B
	Embajadoras - Aztecas	1,404	8:00 – 9:00	concurrida
	Embajadoras – Túnel el Barretero	1,314	8:00 – 9:00	F
	Insurgencia - Alhóndiga	750	9:00 – 10:00	C
	Mendizábal - Juárez	440	17:00 – 18:00	B
	Glorietas	Dos Ríos	1,512	8:00 – 9:00
Ford		2,294	16:00 – 17:00	F
Cervantina		1,596	8:00 – 9:00	F
Mineros		2,620	8:00 – 9:00	E

(Nivel de servicio: B = flujo libre con velocidad poco afectada por otros usuarios, C = flujo estable, velocidad afectada por otros usuarios, E = vialidad en el límite de su capacidad, F = flujo forzado, con formación de colas y ondas de parada y arranque)

* Fuente: Dirección de Tránsito y Policía Vial de Guanajuato capital

III.2. INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA URBANA

Los datos básicos para la creación del sistema de información geográfica, han provenido de la traza urbana 2010 proporcionada por la Dirección de Catastro e Impuesto Predial, dependiente de la Tesorería Municipal, con la identificación catastral de los predios existentes en la zona urbana y poblaciones conurbadas. Esta información ha sido complementada con la del INEGI, y se presenta en la figura 3. Se agrupa en cuatro zonas geográficas: Guanajuato, Marfil, Yerbabuena y Santa Teresa, todas ellas cubren la zona urbana objeto del estudio.

La información se ha generado en un archivo CAD, y se ha identificado por capas en función del tipo de elemento. Para obtener una base de datos que pueda ser administrada

adecuadamente en términos de identificación para los objetivos del presente trabajo, ha sido necesario reclasificar las capas adaptándolas a las vialidades que son el objeto de estudio.

Posterior a la reclasificación, el archivo fue transformado a tipo *.DXF*, a continuación se creó con el programa *ARC CATALOG*, un grupo de archivos *GEODATABASE* con los atributos de los elementos del archivo original en *.DXF*. Esta *GEODATABASE* fue agregada como grupo de capas al programa *ARC MAP*, en donde se adecuaron las características de las variables con enfoque de mapa temático para obtener la información deseada.

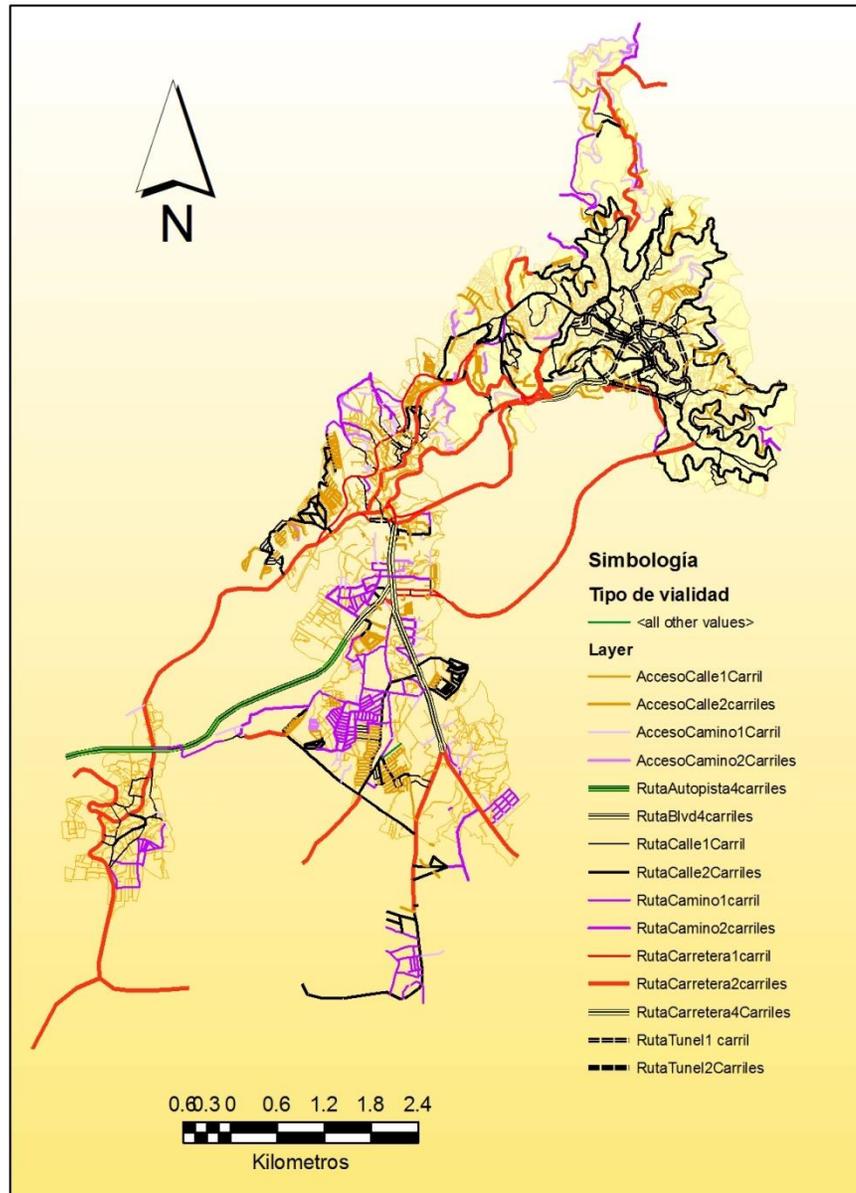


Figura 3. Red vial de Guanajuato capital*

*Adaptado de la traza urbana proporcionada por la Dirección de Catastro Municipal e INEGI

III.3. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

La información a la que se ha tenido acceso permitió identificar de manera objetiva las variables que inciden en la eficiencia de los procesos de transporte y movilidad objeto del presente trabajo:

- Tipo de camino. Se agrupó por capas el tipo de vialidad, y por medio de criterios de selección en el GIS, en la tabla de atributos se cuantificaron las longitudes.

Con esta información se realizó una primera discriminación de datos para utilizar solamente las vialidades identificadas como de ruta, dado que son aquellas que permiten la continuidad necesaria para ser transitadas por el sistema de transporte público. Se consideraron únicamente seis excepciones: la calle subida de Mellado en el barrio del mismo nombre, la calle Antiguo camino a Rayas en el barrio del Cerro del Cuarto, La Subida al Panteón Nuevo en Pueblito de Rocha, la calle Colita del Encino, en la colonia El Encino, el acceso a la UCEA y el camino de acceso a la comunidad Paso de Perules, dado que la población de dichos lugares es de consideración y no cuentan con calles de ruta.

- Tipo de tránsito usuario (vehículos automotores, ciclistas, animales, peatones). Los usuarios de las vialidades pueden agruparse cualitativamente como sigue: en los caminos, peatones, bicicletas, transporte de tracción animal y vehículos automotores; en las calles, peatones, vehículos automotores y bicicletas; en carreteras, vehículos automotores. Lo anterior no excluye cualquier otro tipo de usuario, pero los no mencionados son de paso ocasional.

- Características geométricas (sentidos de circulación, número de carriles, ancho, longitud, pendientes). Con esta variable se identificaron restricciones de paso para los vehículos de transporte de pasajeros, pues por sus dimensiones, requieren un ancho mayor a 3.0 m entre paramentos. Las únicas excepciones en este criterio son la calle Alameda y la Calzada de Guadalupe, pues aunque tienen ancho menor a 3 m son parte de la ruta de comunicación de la escuela preparatoria de la Universidad de Guanajuato con el centro de la ciudad, y la calle sin nombre entre el Jardín de Niños Pierre Faure y la calle de acceso a Noria Alta, dado que es parte de la única ruta que se interna en el fraccionamiento.
- Condiciones de deterioro generales (baches, deformaciones, desprendimientos, erosión). Para los objetivos del presente trabajo, las condiciones de deterioro representan una variable independiente, pero las propuestas de optimización resultantes la convierten en una variable dependiente de la importancia que tenga la vía como parte de una o más líneas de transporte público.
- Infraestructura asociada (banqueta, reductores de velocidad, señalamiento, construcciones laterales, cercados). Se consideró también que no representa una condicionante para determinar el universo de estudio, pero deberán adecuarse sus características a la importancia que como parte de una red de transporte adquiera cada vialidad.
- Capacidad vial (vehículos por hora, nivel de servicio). Debido a la limitación de vías de alta capacidad en la zona urbana, esta variable no es un criterio conveniente para la toma de

decisiones. Únicamente se tomó en cuenta la información de la tabla 4 relativa a los cruceros y glorietas con nivel de servicio F para que las propuestas se hagan minimizando el uso de éstas.

III.4. INDICADORES

Para evaluar la eficiencia de las propuestas, y así lograr la optimización en el diseño de líneas, se han establecido los siguientes indicadores:

1. Porcentaje de uso de las líneas en las vialidades disponibles. Este indicador tiene una relación proporcional con la cobertura del servicio.
2. Distancia de recorrido. Se estableció para mantener en un rango conveniente para el usuario la longitud de traslado en cada línea, al tiempo que se forma un marco de equilibrio en la longitud del conjunto de todas ellas.
3. Tiempo y velocidad de recorrido. Las velocidades varían de manera inversamente proporcional a la saturación de vialidades, y el tiempo lo hace en forma directa. Al ser parámetros que deben medirse en campo, no será posible determinar sus valores hasta que el sistema esté operando, pero se han medido en la propuesta de acuerdo con las características actuales de la red vial para que reflejen la reducción de tiempo en función del nuevo arreglo de las líneas en el sistema.
4. Saturación de vialidades. Es uno de los valores que mejor reflejan la optimización de la propuesta, entendida como la menor cantidad de pasos de línea por un mismo tramo de vialidad.
5. Cobertura de atención por equipamiento urbano cercano a la línea. Este valor es el más relevante para determinar si la propuesta ha alcanzado la optimización, al llegar a los

máximos valores que permitan las condiciones de la infraestructura y equipamiento de la ciudad.

Al ser las escuelas el elemento de mayor impacto en el sistema, se muestran los lineamientos establecidos por SEDESOL (1999) para su ubicación en la tabla 5:

Tabla 5. Lineamientos de SEDESOL para ubicación de centros educativos

Elemento de equipamiento	Radio de servicio urbano recomendable	Ubicación
Jardín de niños,	750 m	En localidades de más de 2,500 habitantes
Escuela primaria	500 m	
Telesecundaria	1 Km	Recomendada en localidades de menos de 5,000 habitantes sin secundaria formal
Secundaria General	1 Km	Necesaria en localidades de más de 5,000 habitantes
Secundaria técnica	1.5 Km	Alternativo a secundaria general en localidades de más de 10,000 habitantes, e indispensable en localidades mayores
Centro de capacitación para el trabajo	2 Km	En localidades de más de 10,000 habitantes
Preparatoria general	2 a 5 Km	
Preparatoria por cooperación		
Centro de atención preventiva de educación preescolar (CAPEP),	750 m	Recomendado en localidades de más de 50,000 habitantes
Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios (CBTIS)	5 a 10 Km	
Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario (CBTA)	Fuera del área urbana	
Centro de estudios tecnológicos del mar	Fuera del área urbana	En localidades de más de 50,000 habitantes
Centro de Desarrollo Infantil (CENDI)	4 Km	En localidades de más de 100,000 habitantes
Escuela especial para atípicos,	2.5 Km	
Colegio de bachilleres	2 a 5 Km	

Tabla 5. Lineamientos de SEDESOL para ubicación de centros educativos (continuación)

Elemento de equipamiento	Radio de servicio urbano recomendable	Ubicación
Colegio Nacional de Educación Profesional Técnica (CONALEP)	5 a 10 Km	En localidades de más de 100,000 habitantes
Centro de estudios de bachillerato	El centro de población	
Instituto tecnológico		
Instituto tecnológico agropecuario	Fuera del área urbana	
Instituto tecnológico del mar		
Universidad estatal	El centro de población	
Universidad pedagógica nacional		

6. Compatibilidad con el peatón, entendida como paso de autobuses por vías con circulación de transeúntes. En este último indicador tiene especial relevancia el sentido social de atención a los usuarios, al identificar la manera como acerca el transporte público a la población con los diferentes destinos, pero al mismo tiempo sin obstruir o poner el riesgo el libre tránsito del peatón.

III.5. DISEÑO DE MODELOS DE OPTIMIZACIÓN

III.5.1. CRITERIOS

La optimización de líneas atendió a los siguientes criterios, los cuales están alineados con los indicadores descritos.

- A. Lograr la mayor cobertura posible expresada en porcentaje de superficie de manzanas y porcentajes de la cantidad de elementos de equipamiento urbano, para las cuatro zonas: Guanajuato, Marfil, Yerbabuena y Santa Teresa.

- B. Utilización de vialidades de ruta, ya sean carreteras libres, caminos o calles con excepción de las siguientes vialidades locales: la calle subida de Mellado en el barrio del mismo nombre, la calle Antiguo camino a Rayas en el barrio del Cerro del Cuarto, la calle Colita del Encino, en la colonia El Encino, la calle de subida al panteón Nuevo, el acceso a la UCEA y el camino de acceso a la comunidad Paso de Perules. Además utilización preferente pero no excluyente de vialidades con anchos mayores a 4.0 m. y restricción de paso por vialidades de ruta con ancho menor que 3.0 m. con la única excepción de la calle Alameda y Bajada de Noria Alta entre el Jardín de Niños Pierre Faure y la calle de acceso, pues tienen menos que éste en algún punto de su trayectoria.

Para lograr lo anterior se trabajó con las vialidades indicadas en la figura 5, que es por donde se hicieron las propuestas, y el resto de la red vial no fue considerado. No hubo restricción de paso en términos de la pendiente o tipo de superficie, dado que la mayoría de las vialidades en Guanajuato capital tienen fuertes pendientes, sin embargo ante diferentes alternativas equivalentes de paso, se optó por la de menor pendiente y en los casos donde no se logró, se definió la dirección de la ruta en descenso.

- C. Distancias de recorridos consistentes con las dimensiones de la zona urbana. Lo cual restringió a las líneas a recorrer distancias menores que las medidas extremas de la zona urbana en cualquier sentido. En cuanto a la dimensión mínima, no hubo un criterio especial, más que el mantener una proporción adecuada con respecto a las distancias de

las líneas más largas, y que a la vez brinden la cobertura espacial necesaria. Para ello se propuso un valor del orden de la tercera parte de la longitud máxima.

- D. El traslado entre dos puntos cualesquiera dentro de la ciudad para un usuario, se hace en una, dos o máximo tres líneas diferentes, lo que significa cero, uno o dos transbordos. Se estableció este criterio debido a la imposibilidad de que una sola línea llegue a todos los sitios, y se consideró a priori que con un máximo de tres líneas esto se podría lograr, como efectivamente ocurrió.

- E. Mínima repetitividad de pasos de líneas por un mismo tramo. En este criterio también se estableció que debía haber un mínimo uso de intersecciones y glorietas con nivel de servicio actual E o F. Dado que a priori se desconocía el diseño al que se llegaría con la propuesta optimizada, no fue posible establecer un número determinado de líneas que pasaran por esos puntos, pero en general debían ser tantas o más que las actuales.

III.5.2. DEFINICIÓN DE VALORES PARA LOS CRITERIOS DE OPTIMIZACIÓN

- A. Lograr la mayor cobertura posible. Se propusieron los parámetros indicados en la tabla 6 para valores en general, y en las tablas 7 y 8 para valores en detalle por zona.

Tabla 6. Cobertura general de líneas propuesta

<i>Indicador</i>	<i>Actual</i>	<i>Con proyecto</i>
Porcentaje de uso de las líneas en las vialidades disponibles	39.1%	Más de 80%
Número de líneas de transporte público	23	Al menos 23

Tabla 7. Cobertura propuesta de manzanas por zona para la optimización de las líneas de transporte público en Guanajuato capital

Zona	% de superficie total de manzanas en la zona					
	a 50 m de la línea		a 100 m de la línea		a 150 m de la línea	
	Actual	Proyecto	Actual	Proyecto	Actual	Proyecto
Guanajuato	76%	90%	87%	95%	89%	100%
Marfil	62%	75%	70%	90%	78%	95%
Yerbabuena	10%	75%	13%	90%	15%	95%
Santa Teresa	0%	50%	0%	75%	0%	90%

Tabla 8. Cobertura propuesta de equipamiento urbano por zona para la optimización de las líneas de transporte público en Guanajuato capital

Zona	% de equipamiento urbano en la zona					
	a 50 m de la línea		a 100 m de la línea		a 150 m de la línea	
	Actual	Proyecto	Actual	Proyecto	Actual	Proyecto
Guanajuato	61%	90%	84%	95%	90%	100%
Marfil	30%	75%	58%	90%	67%	95%
Yerbabuena	0%	75%	0%	90%	0%	95%
Santa Teresa	0%	50%	0%	75%	0%	90%

Los valores propuestos en las tablas anteriores se deben a que la densidad vial en Guanajuato es la mayor de las cuatro zonas, en Santa Teresa es la menor y tiene valores intermedios en Marfil y Yerbabuena.

Además, debía garantizarse que se cubrieran todos los tramos por donde actualmente pasan líneas, o que en caso de haber modificaciones éstas no se alejaran más de 100 m del paso actual.

- B. Utilización de vialidades de ruta. Este criterio no se evaluó de manera cuantitativa, pero fue el marco de referencia para que la propuesta fuera viable en términos de continuidad de líneas.
- C. Distancias de recorrido que sean consistentes con las dimensiones de la zona urbana. Si las distancias extremas en línea recta son 12.6 Km en sentido N-S y 9.0 Km en sentido E-O, la longitud máxima de línea debía ser menor que esas, y la mínima sería del orden de 1/3. Por lo anterior se propusieron los parámetros mostrados en la tabla 9.

Tabla 9. Valor propuesto del parámetro de longitudes extremas para las líneas

<i>Indicador</i>	<i>Valor actual</i>	<i>Con proyecto</i>
Longitud máxima de línea	15.8 Km	12.0 Km
Longitud mínima de línea	1.3 Km	4.0 Km

- D. Traslado entre dos puntos cualesquiera dentro de la ciudad para un usuario en una, dos o máximo tres líneas diferentes. A este parámetro se agregó el criterio de tiempo como se indica en la tabla 10.

Tabla 10. Valor propuesto del parámetro de transbordos y tiempo de traslado de las líneas

<i>Indicador</i>	<i>Valor actual</i>	<i>Con proyecto</i>
Número de transbordos entre dos puntos cualesquiera	1 con cobertura de 39.1% de las vialidades	2 con cobertura de más del 80% de las vialidades
Tiempo de traslado máximo en una misma línea	>50 min	30 min

- E. Mínima repetitividad de pasos de líneas por un mismo tramo. Se propusieron los parámetros contenidos en la tabla 11.

Tabla 11. Valor propuesto del parámetro de saturación de vialidades por las líneas de transporte

<i>Indicador</i>	<i>Valor actual</i>	<i>Con proyecto</i>
% de tramos sin circulación de líneas	59%	Menos del 30%
% de tramos con un solo paso de líneas	5%	Más del 50%
% de tramos con 2 a 5 pasos de líneas	25%	Menos de 40%
% de tramos con 6 a 9 pasos de líneas	7%	Menos de 2%
% de tramos con 10 o más pasos de líneas	4%	0%

III.5.3. PROCESO

Para obtener las mejores aproximaciones a los modelos optimizados el proceso fue como se describe:

1. Se generan “buffers” o círculos con radios de diferentes dimensiones, en función de la prioridad de acceso a los diferentes elementos de equipamiento urbano. Partiendo de ello se propuso que la distancia máxima a escuelas, a los centros de salud y Hospitales debía ser 50 m; a los mercados: 100 m; a los templos y lugares de culto: 150 m; a los Palacios de Gobierno, plazas públicas o parques, museos y panteones: 200 m. Se hizo así considerando que 50 m pueden ser recorridos en un tiempo promedio de 30 segundos a paso veloz, o de 1 minuto a paso lento (3 Km/h). En este mismo orden de ideas, el acceso a las demás distancias se hizo en rangos de tiempo suficientemente cómodos para que sean aceptados por los usuarios.

Con los resultados de envolvente para el criterio mencionado se obtuvo una región por donde se deben de determinar las propuestas de líneas de transporte.

2. Definición de puntos estratégicos que sirvieran como estaciones de transferencia de pasaje. Para lograr un sistema integrado, fue necesario establecer sitios específicos donde el usuario pueda cambiar de unidad hacia destinos diversos dentro de la red. Con base en la ubicación de las estaciones de transbordo se definieron zonas de la red.

Estos sitios fueron definidos en función de los siguientes criterios: a) suficientemente alejadas entre sí; b) permiten concentrar el flujo de autobuses de sectores amplios del centro de población; c) Espacio suficiente en banqueta para estación y paso de peatones, o bien suficiente espacio físico para crear la estación sin obstruir la franja peatonal; d) Fuera de intersecciones saturadas y; e) Deben permitir el transbordo entre líneas que vayan a diferentes zonas.

3. Diseño de un sistema conectado por medio de líneas troncales que unen los extremos de la zona urbana. Éstas deben circular por vialidades de tipo carretera o túnel, o calles de dos o más carriles para conectar rápidamente los puntos de enlace que son las estaciones de transferencia.
4. Propuesta de líneas alimentadoras y evaluación de todo el sistema de acuerdo con los criterios de optimización establecidos. Fue necesario considerar que estas líneas comunicaran lo antes posible a los sitios de transferencia con los destinos, sin sacrificar una adecuada cobertura de cada zona. En correspondencia con las limitaciones de la red

vial de Guanajuato capital, el diseño de las líneas tendió a formar circuitos, en vez de utilizar trayectorias lineales.

Se evaluaron a continuación los parámetros propuestos para la optimización y los resultados se muestran en el capítulo V.I. *Comprobación*.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

IV.1. MEDICIÓN DE VARIABLES

- Tipo de camino: El resultado de agrupar por capas y definir criterios de tipo se observa en la figura 4, con la mayor longitud se tiene en vialidades de ruta, y de éstas, alrededor de la mitad son calles. La longitud de caminos y carreteras es aproximadamente similar, y mínima la de túneles, autopista y boulevards.

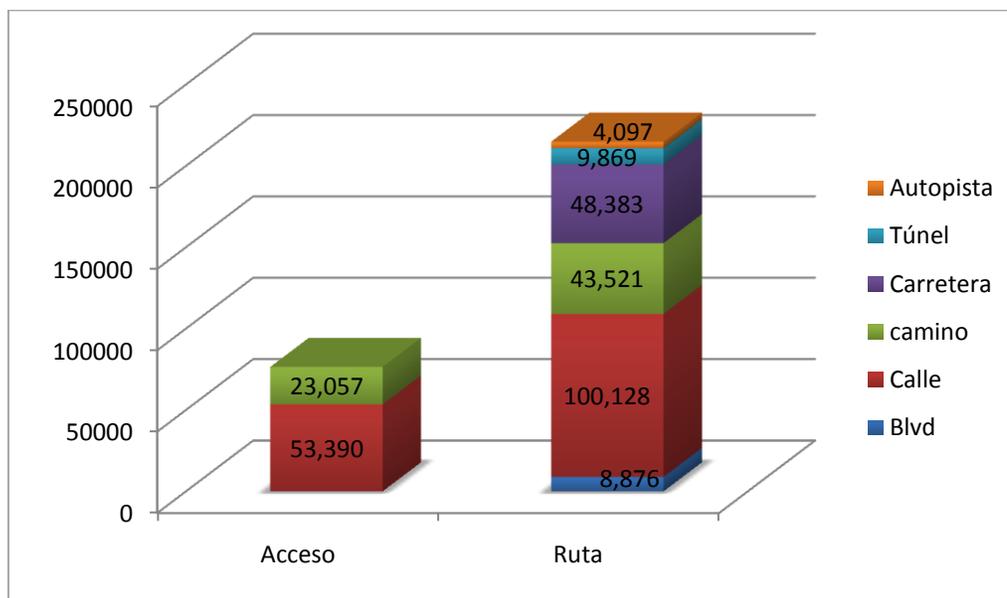


Figura 4. Longitud de vialidades por tipo.

- Tipo de tránsito usuario (vehículos automotores, ciclistas, animales, peatones): El total de vialidades de ruta más las excepciones descritas en el capítulo III.3 es de 473.

En la tabla 12, se puede observar que el 76% de las vialidades de la zona urbana es utilizado por peatones, dadas las características geométricas y urbanas de Guanajuato capital, con lo que cobra especial relevancia que el transporte público de autobuses sea compatible con los peatones, propiciando su utilización pero sin convertirse en un factor de riesgo o molestia para las personas.

Tabla 12. Tipo de tránsito usuario por tipo de vialidad

Tipo de vialidad de Ruta	Longitud	Usuarios			
		vehículos	Ciclistas	Peatones	Tracción Animal
Autopista	4,097	x			
Blvd.	8,024	x		x	
Calle	100,128	x	x	x	x
camino	43,521	x	x	x	x
Carretera	48,383	x	x		
Túnel	9,869	x		x	
Total	214,875	214,875	192,032	162,394	143,649
Porcentaje del total		100%	89%	76%	67%

Se hizo una siguiente discriminación por el uso, dado que los tramos de autopista no pueden constituir parte de una red de transporte urbano, por lo que no se consideró su longitud en el universo de análisis.

- Características geométricas (sentidos de circulación, número de carriles, ancho, longitud, pendientes). En el universo de análisis se encuentran vialidades con superficie de asfalto, otras de adocreto, concreto hidráulico, empedrado o revestimiento de material de banco. Las pendientes son de un amplio rango, desde prácticamente horizontales hasta más del 12%. Los anchos libres también muestran amplia dispersión, pues varían desde 4 m (caminos de 1 carril) hasta 12 m. Como consecuencia, las velocidades promedio que se desarrollan varían desde 5 hasta 70 Km/h en función de las demás características (ver tabla 13). Al discriminar aquellas cuyo ancho es menor a 3.0 m el número de vialidades se reduce quedando como se muestra en la figura 5 donde se observa el predominio de vialidades con ancho de 6 a 9 m y de ellas la mayoría queda distribuida entre calles y carreteras. La siguiente frecuencia mayor corresponde a las de ancho de 3 a 6 m, pero con predominio de caminos y calles.

Tabla 13. Características geométricas de las vialidades de ruta

Tipo	Longitud total	Num. de vialidades	Ancho mín. (m)*	Ancho máx. (m)*	Pendiente máx. (%)*	Tipo de superficie	Vel. Promedio (Km/h)*
Bldv 4 carriles	8,876	8	9	9	4	Asfalto	70
Calle 1 Carril	36,436	137	2.5	10	12	Adocreto, concreto hidráulico, empedrado, asfalto	5 a 40
Calle 2 Carriles	61,677	108	10	15	12	Adocreto, concreto hidráulico, empedrado, asfalto	20 a 60
Camino 1 carril	32,172	128	4	7	10	Revestimiento	10 a 35
Camino 2 carriles	11,349	27	5	10	10	Revestimiento	10 a 35
Carretera 1 carril	7,309	14	5	10	6	asfalto, concreto hidráulico	20 a 60
Carretera 2 carriles	41,074	25	6	12	6	asfalto, concreto hidráulico	40 a 90

Tabla 13. Características geométricas de las vialidades de ruta (continuación)

Tipo	Longitud total	Num. de vialidades	Ancho mín. (m)*	Ancho máx. (m)*	Pendiente máx. (%)*	Tipo de superficie	Vel. Promedio (Km/h)*
Túnel 1 carril	9,701	24	6	6	6	Concreto hidráulico, asfalto	40
Túnel 2 Carriles	168	1	7	7	2	Concreto hidráulico, asfalto	30
Total	208,762	472					

* Datos estimados

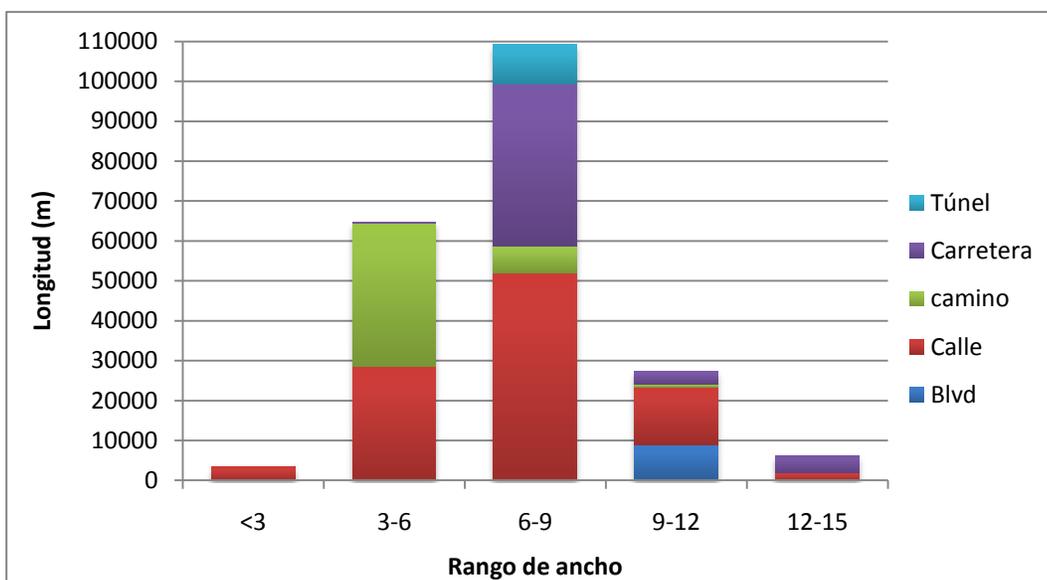


Figura 5. Resumen de vialidades de ruta por rangos de ancho de corona.

En resumen, las vialidades que por sus características son aptas para realizar el análisis se presentan en la figura 6.

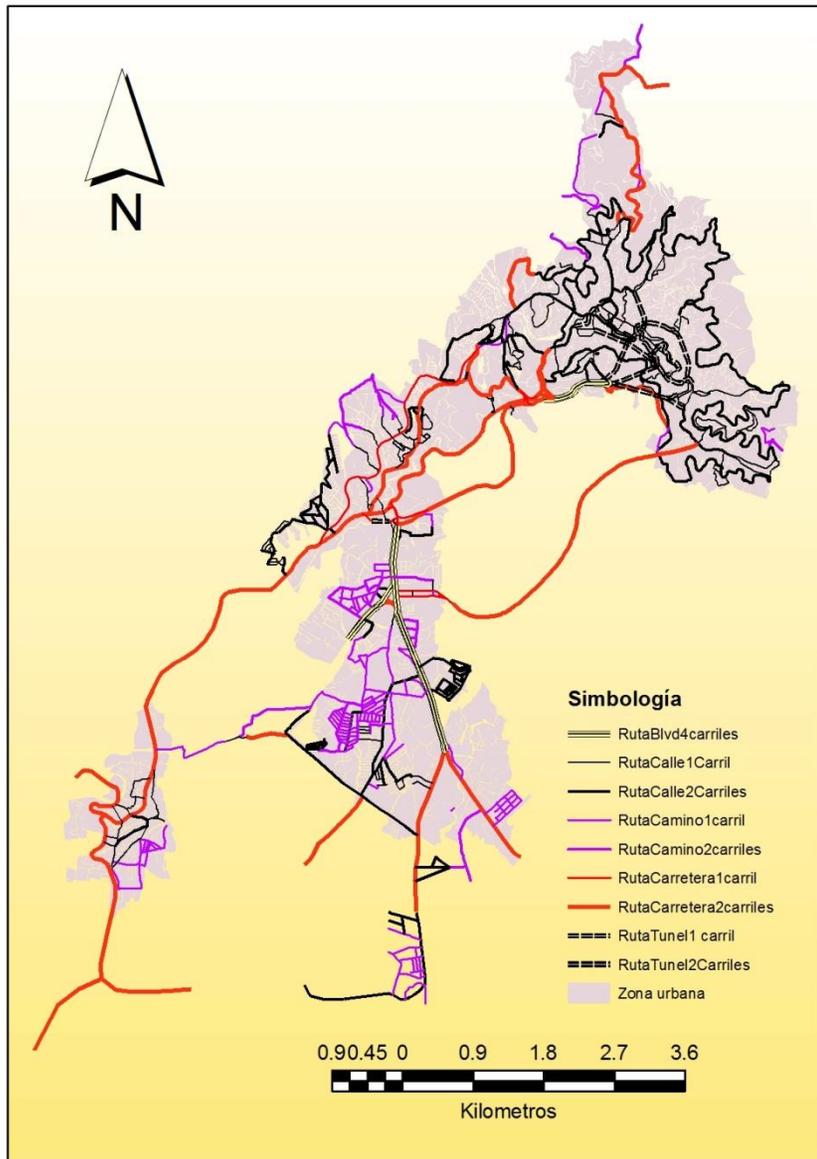


Figura 6. Vialidades de ruta en la zona urbana con ancho mayor o igual a 3.0 m.

Se puede observar que la distribución de la red vial resultante permitió proponer líneas con la cobertura necesaria para atender todas las zonas de la ciudad.

IV.2. EVALUACIÓN DE INDICADORES

1. Porcentaje de uso de las líneas en las vialidades disponibles. En la tabla 14 se observa el cálculo de este indicador obtenido como la distancia total recorrida de vialidades dividida entre la longitud de vialidades de ruta.

Tabla 14. Porcentaje de uso de vialidades disponibles por las líneas de transporte urbano

Indicador	Valor
Longitud de vialidades de ruta (m)	208,762
Distancia total recorrida por las líneas urbanas (m) =	386,999
Distancia total recorrida de vialidades (m) =	82,506
Porcentaje de uso de las líneas en las vialidades disponibles =	39,5%

Se observa que la distancia total recorrida es casi el doble de la longitud de vialidades de ruta (187%), pero la cobertura es menor al 40% de éstas, lo cual indica una superposición de pasos de autobús por el mismo tramo para varias líneas, que también puede ser causa de saturación vial.

2. Distancia de recorrido. En la figura 7 se observa que la mayor frecuencia de longitudes corresponde a las de distancias de 6 a 9 Km, pero la dispersión de las características del sistema actual se ve reflejada en la existencia de frecuencias para longitudes desde 3 hasta 18 Km. En la tabla 15 se muestran en resumen los valores, y nuevamente se puede observar la heterogeneidad en las longitudes de las líneas actuales.

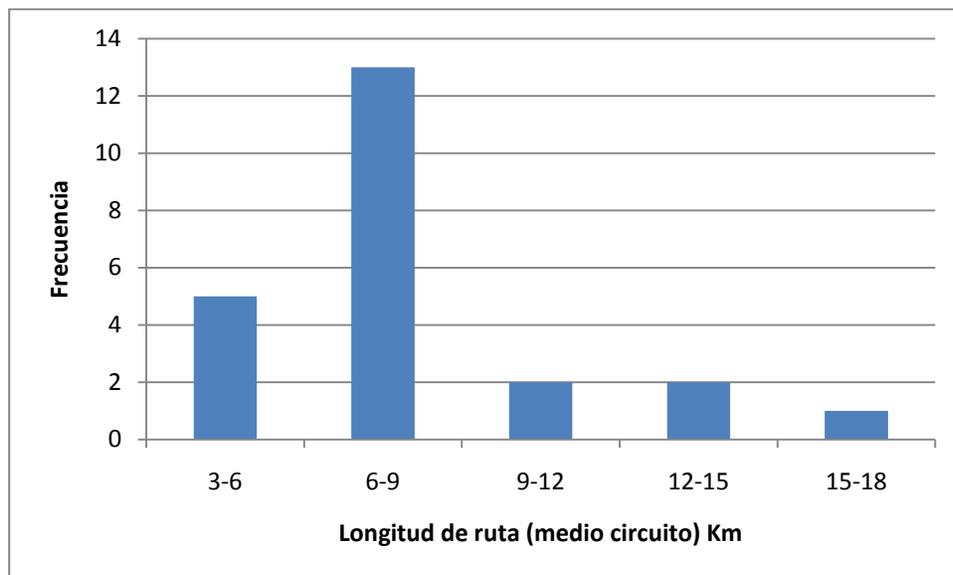


Figura 7. Distribución de frecuencias para las distancias de recorrido de líneas de transporte actuales

Tabla 15. Resumen de longitudes de líneas de transporte urbano (medio circuito)

Longitudes de línea	Valor (Km)
Promedio	8.00
Línea más larga	15.56
Línea más corta	4.44

Las mayores frecuencias de distancias se tienen en la longitud de 6,000 a 9,000 m; por otro lado, las dimensiones extremas en línea recta de la zona urbana de Guanajuato capital son:

- Valenciana – Cuevas = 12,655 m
- Santa Teresa – Presa de la Olla = 9,030 m

Estas dimensiones son cercanas o mayores a las distancias máximas de las líneas de transporte, por lo que se concluyó que los rangos de línea adecuados deben ser de

longitud máxima 9.0 Km y se propuso que el mínimo podría ser en líneas locales, del orden de la tercera parte de ésta, equivalente a 3.0 Km.

3. Tiempo y velocidad de recorrido: Las figuras 8 y 9 muestran la distribución de frecuencias para estos valores, donde como consecuencia de las características heterogéneas en la longitud de líneas, los tiempos también tienen una amplia dispersión, así como las velocidades de recorrido. Se puede observar que los valores corresponden con las características de la red vial de Guanajuato capital, los valores extremos indican que el diseño de las líneas es heterogéneo y refleja desigualdad en la eficiencia, lo cual se demuestra cuando 2 líneas tardan menos de 15 minutos en su recorrido pero hay 3 que tardan más de 35 minutos. Las velocidades promedio son muy similares y muy bajas en todas, entre 15 y 25 Km/h por transitar por las vialidades saturadas del centro de la ciudad.

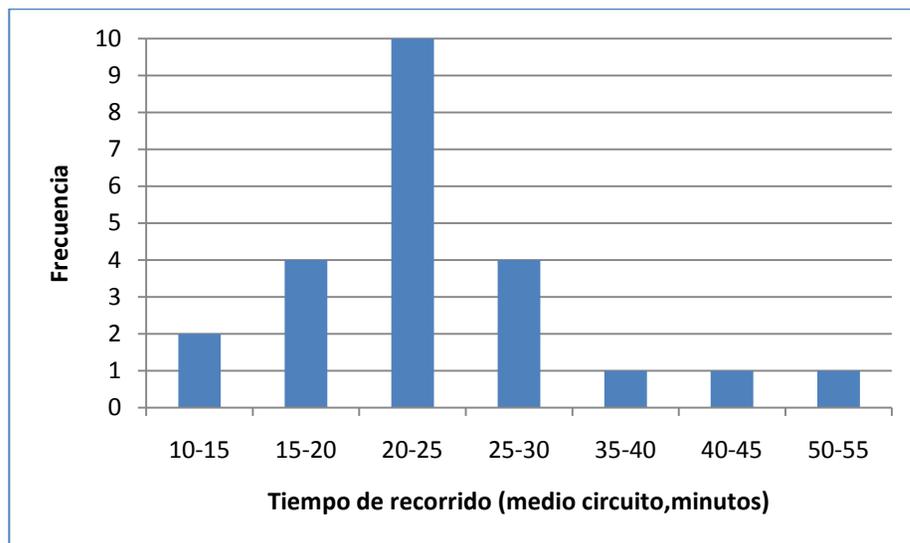


Figura 8. Distribución de frecuencias para los tiempos de recorrido de líneas de transporte

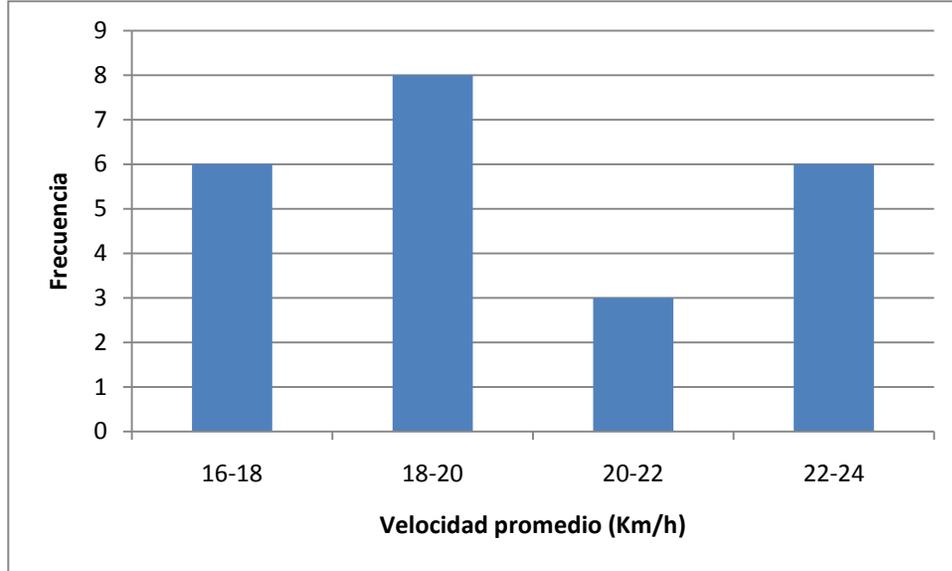


Figura 9. Distribución de frecuencias para las velocidades promedio de recorrido de líneas de transporte

4. Saturación de vialidades. La figura 10 muestra por rangos la cantidad de líneas circuladas por cada tramo de vialidad medidos en longitud.

La mayor parte de las vialidades disponibles (59%) no es circulada por el transporte de autobuses urbanos de pasajeros, mientras que la suma de longitudes por donde pasan más de 6 líneas en el mismo tramo es de 11% y otro 25% es circulado por 2 a 5 pasos de línea, lo que refuerza la percepción de saturación en las calles. Pero aún más relevante en las condiciones de saturación es el hecho de que el 11% de la red recibe de 6 a más de 18 pasos de línea.

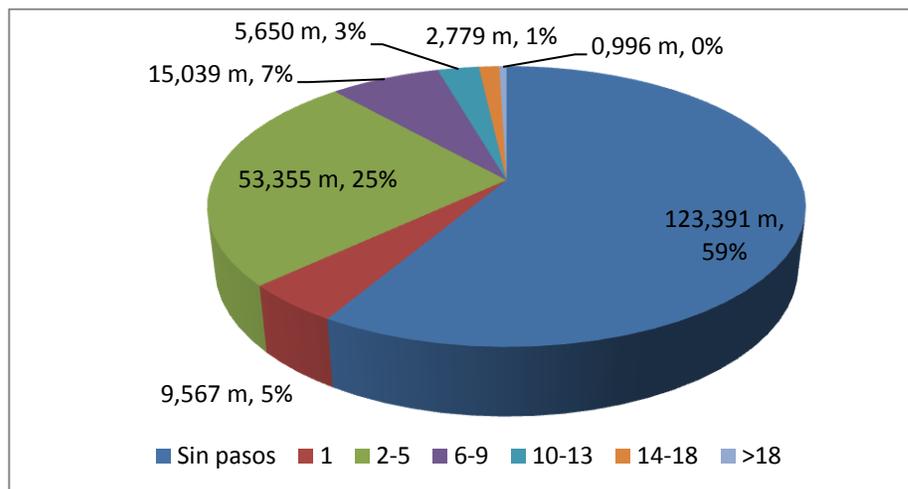


Figura 10. Saturación de vialidades por las líneas de transporte actuales

5. Cobertura de atención por equipamiento urbano cercano a la línea. La tabla 16 muestra la información relativa a la superficie de manzanas en las diferentes secciones en que se ha dividido la ciudad siguiendo el ordenamiento geográfico del INEGI por poblaciones.

Tabla 16. Superficie de manzanas en la zona urbana

Zona	Área (m ²)	Número de manzanas
Guanajuato	9,968,972	1,246
Marfil	6,238,550	665
Yerbabuena	1,667,012	152
Santa Teresa	2,417,750	123
Total	20,292,284	2,186

La cobertura se evalúa en función de las áreas de manzanas y los elementos de equipamiento urbano que quedan cubiertos a distancias de 50 m, 100 m y 150 m en franjas paralelas a ambos lados de cada línea. Estas cantidades expresadas en m² para las manzanas y en cantidad de elementos para el equipamiento urbano se comparan con el total para expresarlo en porcentaje, como queda reflejado en las figuras 11 y 12.

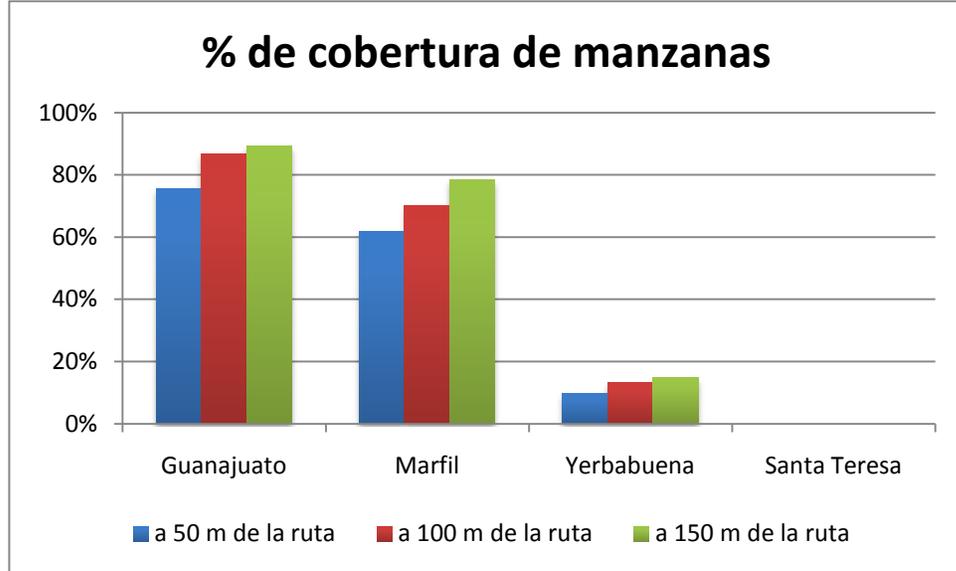


Figura 11. Porcentaje de cobertura de manzanas con las líneas actuales

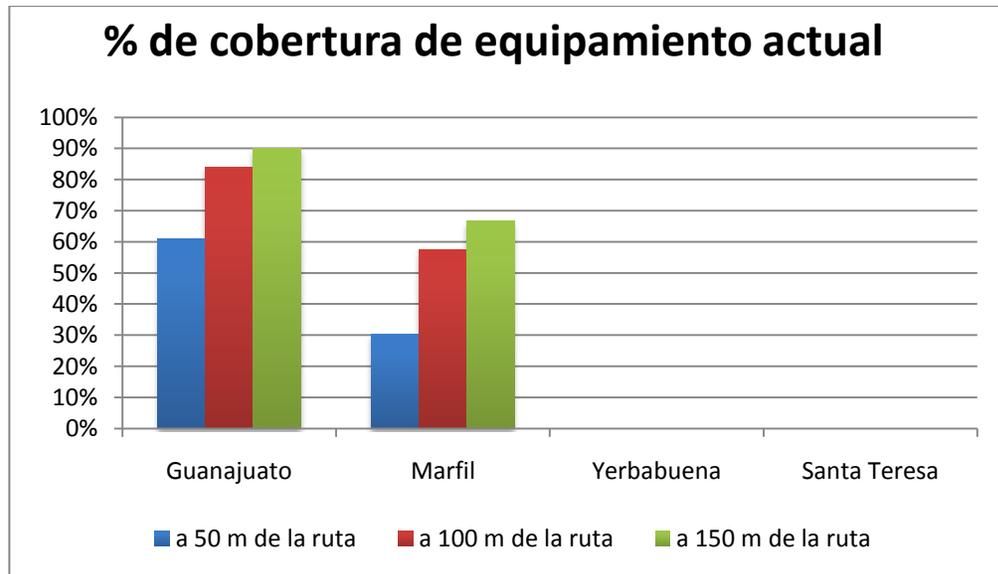


Figura 12. Porcentaje de cobertura de equipamiento urbano con las líneas actuales

6. Compatibilidad con el peatón. Se puede observar en la figura 13 la ubicación de vialidades que también son peatonales, las cuales se identifican como calles y caminos:

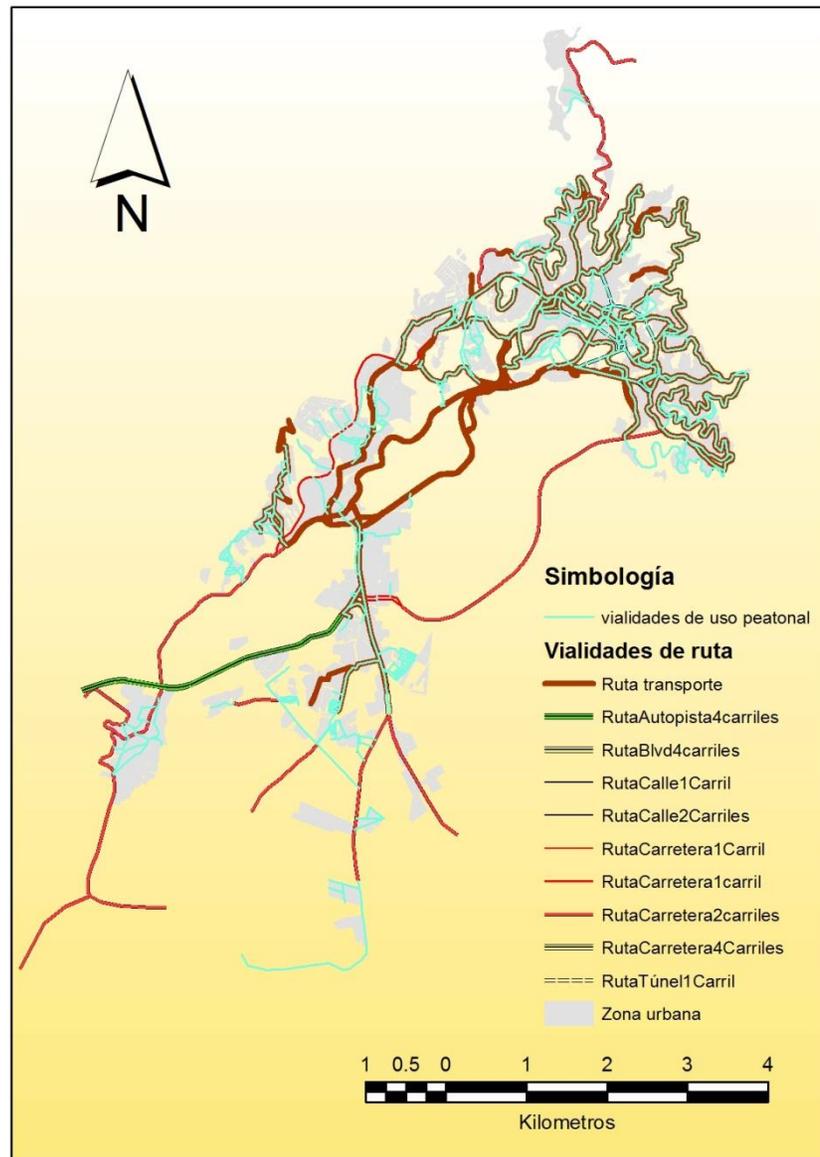


Figura 13. Vialidades de uso peatonal en líneas de transporte

Además en la figura 14 se puede observar la densidad de líneas de transporte dentro de la red vial de la ciudad. Como detalle de relevancia especial, la figura 15 contiene la densidad de líneas en la zona centro.

Es necesario resaltar que en las calles del par vial Miguel Hidalgo - Embajadoras y Belaunzarán – Juárez, transitan más del 50% de las líneas urbanas, lo cual significa que independientemente de su destino, los usuarios en la zona histórica de la ciudad deben pasar por las mismas calles. Esta realidad, además de ser un elemento de obstrucción al tránsito de peatones, satura las principales vialidades de la ciudad dejando por el contrario una limitada cobertura hacia la periferia y zona sur, lo que significa una muy baja eficiencia del sistema.

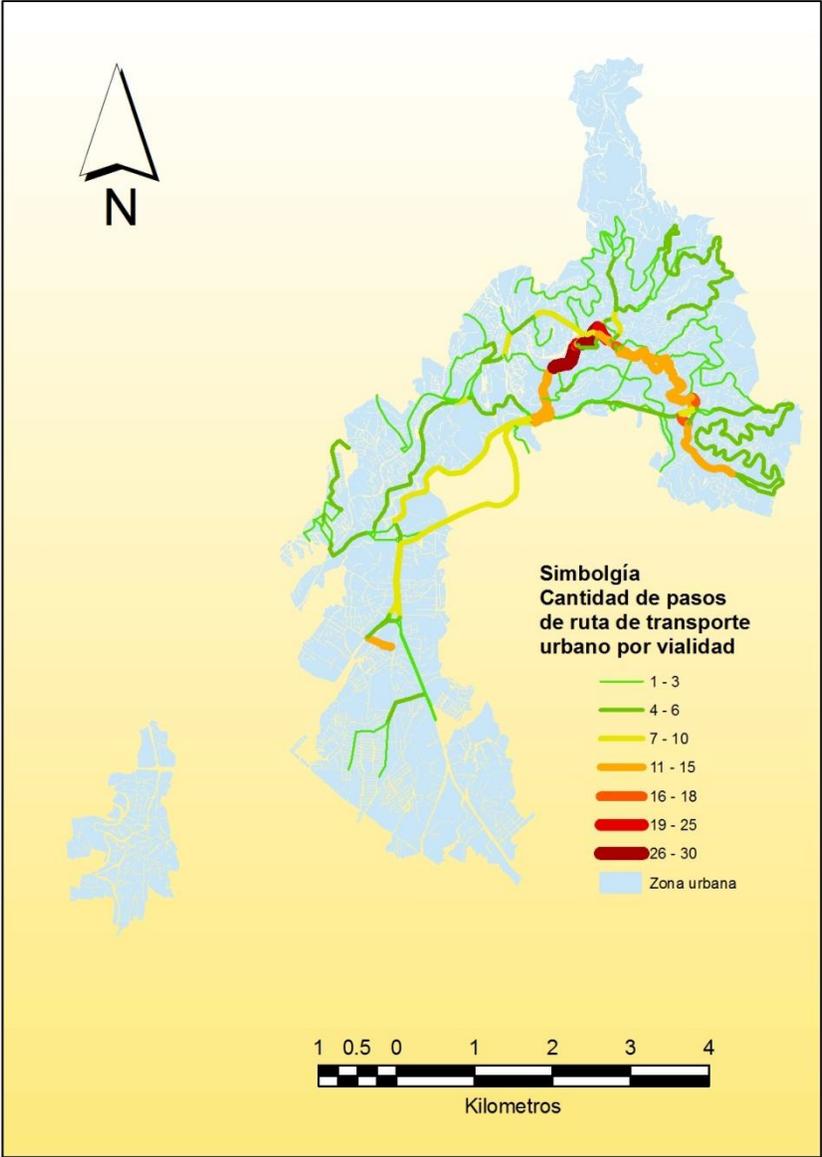


Figura 14. Densidad de líneas de transporte.

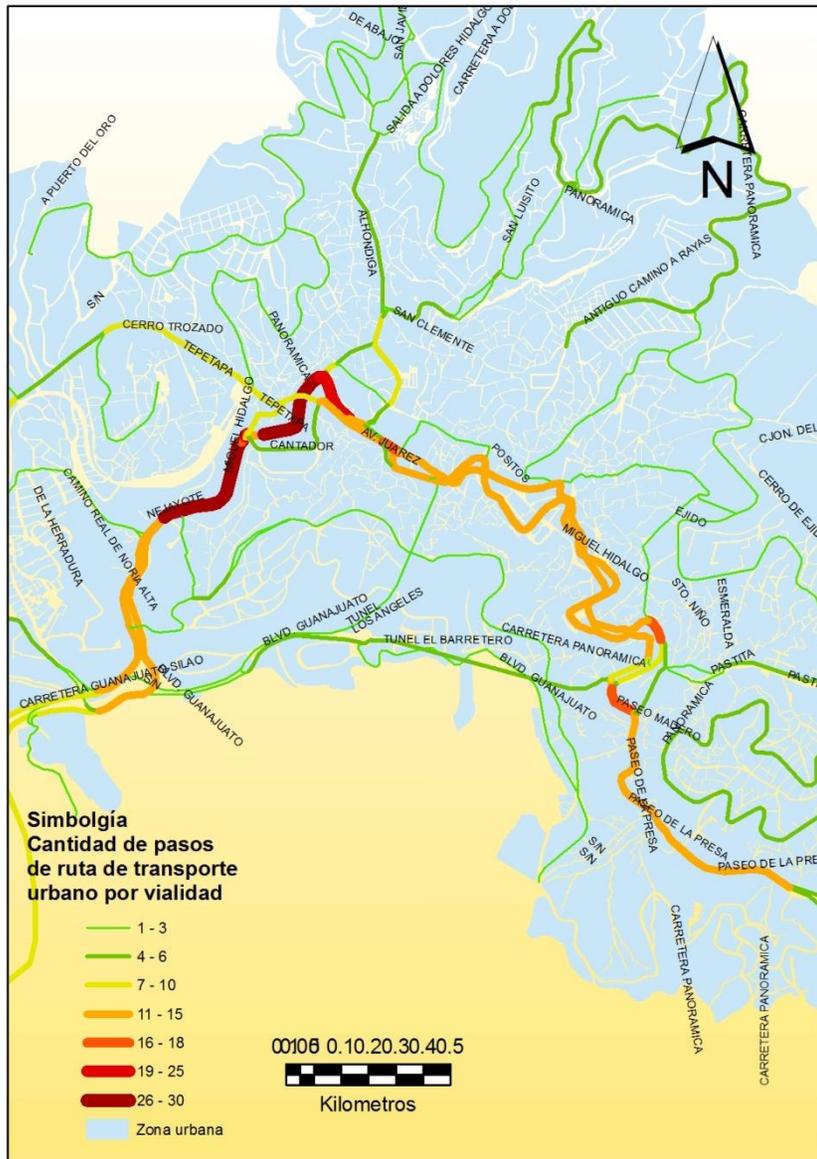


Figura 15. Detalle de densidad de líneas de transporte en el centro histórico, de la calle Miguel Hidalgo a Presa de la Olla

IV.3. DIAGNÓSTICO

La información obtenida se ha evaluado en función de las variables elegidas y de acuerdo con los indicadores de desempeño, con lo que se llegó al siguiente diagnóstico:

En cuanto a la programación de mantenimiento de la red vial, los criterios de la Dirección General de Obras Públicas no están interrelacionados con las prioridades detectadas por las áreas que brindan o regulan los servicios públicos, por lo que las decisiones de atención a los caminos y calles normalmente satisfacen otro tipo de necesidades y al tener recursos limitados no es posible coordinar trabajos de rehabilitación, modernización o mantenimiento de las rutas prioritarias para las otras dependencias y por consiguiente para la ciudadanía.

El sistema de transporte se encuentra globalmente diseñado y se tiene monitoreo de la cobertura en el servicio, así como la detección de problemas específicos, sin embargo es importante diseñar un modelo geográfico que pueda operarse como un sistema integrado de transporte en donde se evite la duplicidad de cobertura por unidades de diferentes líneas en las zonas más demandadas tales como la central de autobuses, la zona del mercado Hidalgo y Alhóndiga de Granaditas, y la zona del jardín Embajadoras, en tanto que se atienda a las zonas alejadas que actualmente cuentan con un servicio insuficiente en número de unidades y cobertura espacial.

Se detectó que el paso de líneas por zonas saturadas como Calle Alhóndiga, Mercado, Embajadoras, Av. Juárez o subterránea Miguel Hidalgo obedece principalmente a que el diseño de líneas actualmente tiene como premisa el paso por esos puntos que es donde mayor actividad urbana hay, pero esto mismo complica el tránsito entre sitios opuestos con respecto a esos puntos, por lo que no es estrictamente necesario el paso de tantas líneas por esas vialidades siempre y cuando siga existiendo la posibilidad de tener cobertura y al mismo tiempo lograr una comunicación adecuada con el resto del centro de población.

También se identificó que en las zonas de mayor demanda de transporte, la solución con la que se trabaja actualmente es mediante la introducción de un mayor número de líneas, sin embargo esto trae como consecuencia directa que el usuario no encuentra con rapidez el autobús que le corresponde a su ruta y debe esperar lapsos grandes, además de que tantas líneas lo que ocasionan es la congestión de la vialidad. La solución deberá ser enfocada más bien a aumentar la frecuencia de paso de la(s) que pasen(n) por esos puntos.

Para estas necesidades identificadas se plantean soluciones que no requieren inversiones importantes de dinero, aunque entre los resultados que se obtengan del presente trabajo se pueden incluir algunas acciones relativas a la construcción o modificación de infraestructura y equipamiento urbano.

IV.4. MODELO PROPUESTO

1.- Generar “buffers” a diferentes distancias como se propuso en el capítulo III.5.2, en función de la prioridad de acceso a los diferentes elementos de equipamiento urbano. La figura 16 muestra la ubicación con los diámetros de las distancias referidas.

Al observar la ubicación de los elementos de equipamiento, se aprecia con claridad que hay escuelas en las zonas de Valenciana, Marfil, Yerbabuena y Santa Teresa, que están más alejadas de las líneas que lo propuesto para las distancia adecuada (50 m), de modo que el diseño del sistema no pudo incluir a estos elementos, lo que afecta en la obtención de los valores definidos en la metodología. Para corregir parcialmente este factor, se propuso como nuevo criterio, el ampliar la distancia de cobertura a 100 m para las escuelas.

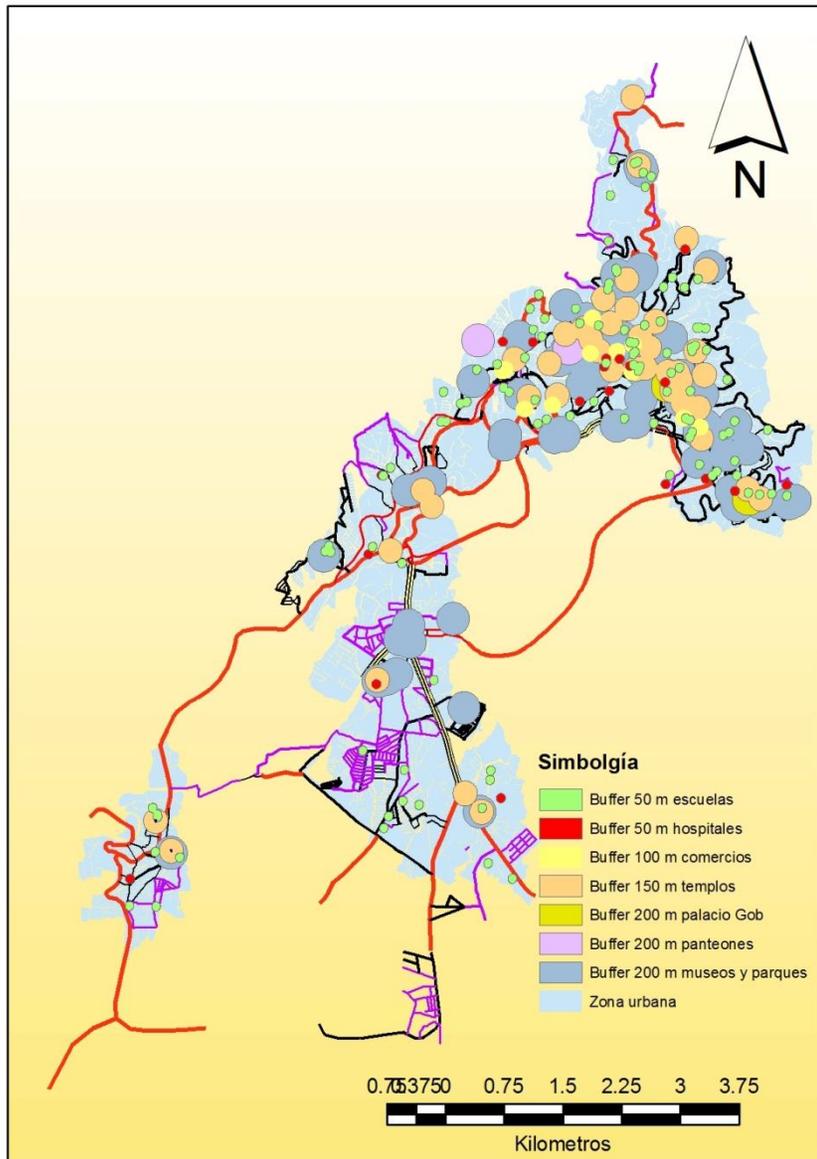


Figura 16. Distancias periféricas de cobertura a elementos de equipamiento urbano

2.- Definición de puntos estratégicos que sirvan como estaciones de transferencia de pasaje. La figura 17 muestra la ubicación propuesta. La tabla 17 indica textualmente el sitio de las mismas, así como las zonas de la red que cubren.

Tabla 17. Ubicación de estaciones de transferencia

Estación Num.	Ubicación	Zona
1	Glorieta Santa Fe	Central – Cuevas
2	Glorieta de Acceso a Las Teresas	Marfil – Santa Teresa
3	Glorieta Pastitos	Centro histórico - Minas
4	El cambio (requiere glorieta)	Presa

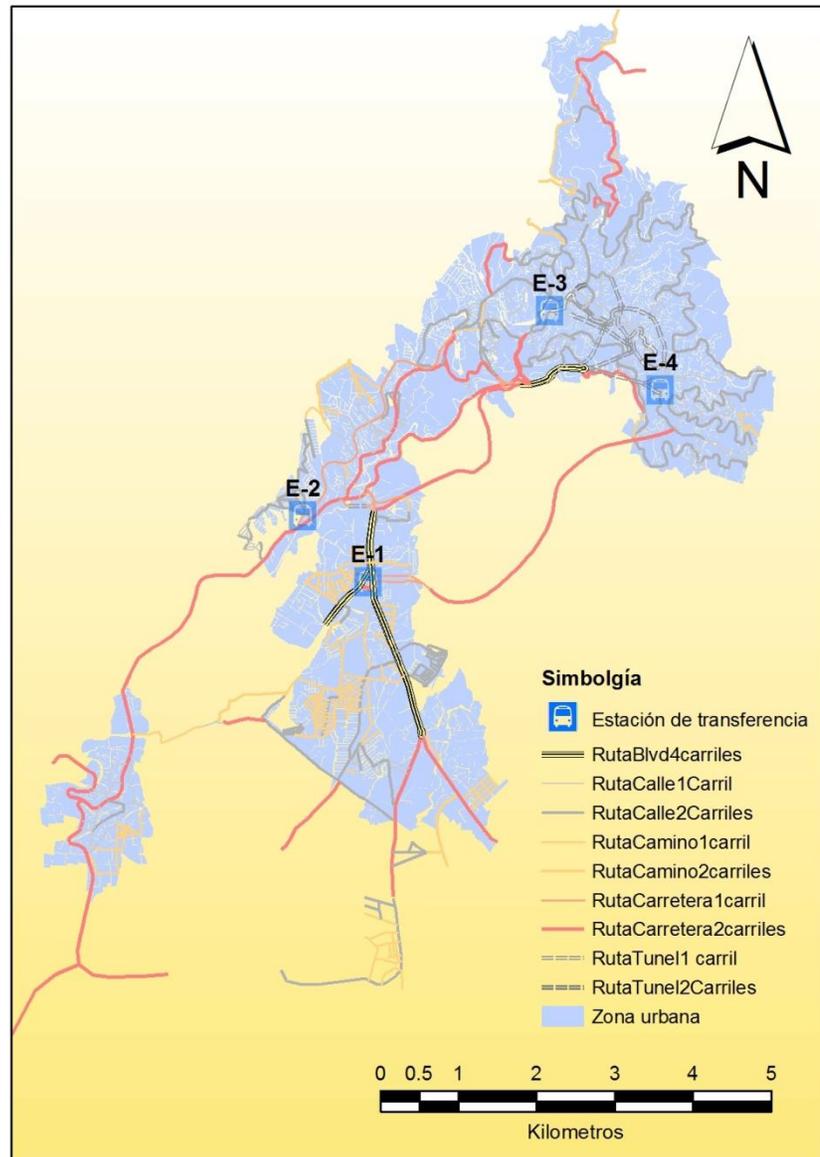


Figura 17. Propuesta de ubicación de estaciones de transferencia

3.- Diseñar un sistema conectado por medio de líneas troncales que unan los extremos de la zona urbana. En la figura 18 se muestra la ubicación de dichas líneas así como las estaciones de transbordo a las que llegan y en la tabla 18 se indican las características y su trayectoria.

Se analizaron también otros modelos de redes como son: circuitos cortos interconectados y líneas alimentadoras; y circuitos periféricos y línea troncal central, con líneas alimentadoras. Estos fueron descartados porque los ramales alimentadores tienen en todos los casos un diseño similar, pero las líneas principales son menos eficientes que las de la primera propuesta.

Tabla 18. Descripción de líneas troncales propuestas

Línea	Trayectoria	Longitud promedio (ida y vuelta) en m.	Estaciones de transbordo
1	Cuevas – Glorieta Santa Fe – Normal – El cambio	12,644	1, 4
2	Santa Teresa – Vial. Las Teresas Plaza de Toros – Tepetapa – Pastitos y regreso por carr. P Rocha Marfil	14,763	2, 3
3	El cambio – dos Ríos por túnel Ponciano Aguilar – Valenciana y regreso por túnel Tamazuca, - Pastitos – Túnel Los Ángeles – Pozuelos - Embajadoras	7,621	4, 3
4	Central de autobuses – Pastitos por Nuevo acceso y regreso por Noria Alta Laurel.	5,968	1, 3

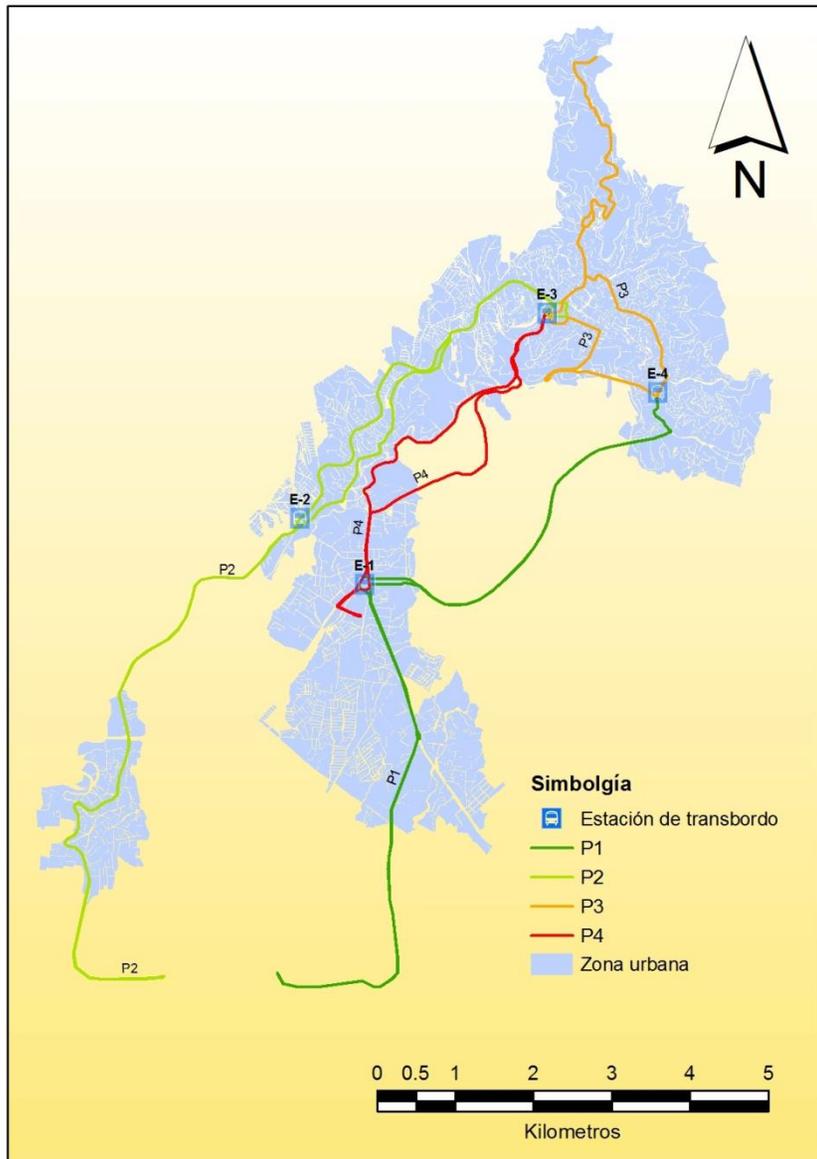


Figura 18. Propuesta de líneas troncales

4.- Proponer líneas alimentadoras El resultado final después de diversos procesos iterativos consiste en la definición mostrada en la tabla 19, donde se indican las trayectorias, y la figura 19 que muestra la imagen correspondiente en el SIG.

Tabla 19. Descripción de líneas alimentadoras propuestas

Línea	Tipo	Zona	Trayectoria	Longitud promedio (medio circuito)	Estaciones de transbordo
5	Alimentadora	Central Cuevas	- San José de Cervera – Loma del Padre – Deportiva Yerbabuena – Central por C. Antonio Loma Amézquita y regreso por C. Arboledas	4,540	1
6	Alimentadora	Central Cuevas	- C. Alfredo Dugés – S/N – El Loco – Blvd. E. Guerrero – G. Santa Fe y regreso por E. Guerrero – Del Roble – Lomas de San Francisco	2,711	1
7	Alimentadora	Central Cuevas	- Cúpulas – Min. De la Hacienda – G. Santa Fe – Calle Polaris – Bld. E. Guerrero – G. El Laurel – G. Las Teresas y regreso por túnel El Laurel – G. Santa Fe – G. Yerbabuena	5,913	1, 2
8	Alimentadora	Central Cuevas	- U. Santa Fe — Campanario – Fracc. 22 de abril Dep. Yerbabuena – Central por C. Antonio Loma Amézquita y regreso por C. Arboledas – Lomas de San Fco.	4,687	1
9	Alimentadora	Central Cuevas	- Puentecillas – Maluco – SEG – Cam La Presita – Yerbabuena – G. Santa Fe	6,291	1
10	Alimentadora	Central Cuevas	- San José de Cervera – Cam. A Cervera – SEG – Cam La Presita – Yerbabuena – Central de Autobuses	8,381	1
11	Alimentadora	Central Cuevas	- Santa Teresa – Cuevas – Puentecillas – Glorieta Yerba buena – G. Santa Fe	12,717	1
12	Alimentadora	Marfil Sta. Teresa	- Las Águilas – Vznagas – Lomas de Marfil – Las Teresas – Lomas de Santa Teresa – Carr. Libre a Silao - Túnel El Laurel – Central de Autobuses	8,448	2,1
13	Alimentadora	Centro Histórico	Esc. Piloto – Esc. Diseño - Aldana – Real de Noria Alta – G. Pastitos, Miguel Hidalgo – UCEA (circuito en ambos sentidos)	5,238	3
14	Alimentadora	Centro Histórico	Panteón Nuevo - Pl. de Toros – Carr. Noria Alta – Mpio. Libre – Ashlad – G.pastitos – Subida Ex Estación – Tepetapa – Momias – Panteón – P. Rocha	4,426	3
15	Alimentadora	Centro Histórico	Pastitos, Tamazuca, 5 de mayo, Carrizo, camino minero, Colita del Encino, Real de Noria Alta – G. Pastitos	3,656	3
16	Alimentadora	Centro Histórico	G. Pastitos – Túnel Tamazuca – G. 2 ríos – Pl. San Javier – Panorámica Esc. Minas – Carrizo Estación FFCC – Banqueta Alta (circuito en ambos sentidos)	3,196	3

Tabla 19. Descripción de líneas alimentadoras propuestas (continuación)

Línea	Tipo	Zona	Trayectoria	Longitud promedio (medio circuito)	Estaciones de transbordo
17	Alimentadora	Centro Histórico	Pastitos – Tepetapa – Estación -Pozuelos – Blvd- Guanajuato – ISSSTE y regreso por pípila – Mpio Libre - Ashland	4,346	3
18	Alimentadora	Centro Histórico	G. Pastitos – Tamazuca – San Clemente - Subida Barrio Nuevo – Mellado – Rayas y regreso por Mellado – Cata – San Javier	3,920	3
19	Alimentadora	Centro Histórico	Cerro del Cuarto – Rayas – Mellado – Cata – San Luisito – G. Pastitos	6,458	3
20	Alimentadora	Presa	Pastitos – Miguel Hidalgo – Bajos Los Ángeles -Túnel Tiburcio Álvarez – Bajos Jardín Unión – Sangre de Cristo – El cambio – Presa y regreso por Belaunzarán –Túnel Galereña – Alonso – Juárez – Banqueta Alta	4,534	3, 4
21	Alimentadora	Centro Histórico	Cerro del Cuarto – Alameda – Plaza de la Paz – Juan Valle - Pocitos – Mendizábal – Rampa del Sol – G. pastitos – Cantador – Túnel Tiburcio Álvarez – Bajos Jardín Unión - Plaza Allende – Cantarranas – Calzada de Guadalupe	4,267	3
22	Alimentadora	Presa	El cambio – Calzada – Panorámica - Col. Peñolera – Subida del Molino	4,388	4
23	Alimentadora	Presa	Normal – Pastita - C. de los Leones – Presa	3,893	4
24	Alimentadora	Presa	Normal – San Sebastian – Belaunzarán – Túnel Galereña -Pozuelos – Blvd. Guanajuato – Panorámica – Presa – Normal	4,055	4
25	Alimentadora	Marfil Sta. Teresa	Av. Edén – San Ignacio – Loma de los Santos – Carr. Marfil N. Alta – Hidalgo – G. Pastitos y regreso por Marfil Palomas - Álamo	4,451	3
26	Alimentadora	Centro Histórico	G. Pastitos – Real de N. Alta – C. de la Herradura –Esc. Química – C. Convenciones y regreso por Vía FFCC - C. Nueva N. Alta – Distrib. N. Alta.	3,523	3
27	Especial	Centro Histórico	Mercado – Subterránea Miguel Hidalgo – Teatro Cervantes – Cantarranas - Juárez	1,315	EE1, EE2

La longitud mostrada corresponde a la mitad de la longitud total del circuito, como promedio por línea.

Se hace notar que la última línea (27) denominada “especial”, tiene una función principalmente turística, y el medio de transporte es diferente al del resto. Por esta razón no llega a las estaciones de transferencia ya definidas, pero para que quede integrada en el sistema se propusieron estaciones especiales con la ubicación que se muestra en el mapa general de líneas (figura 19).

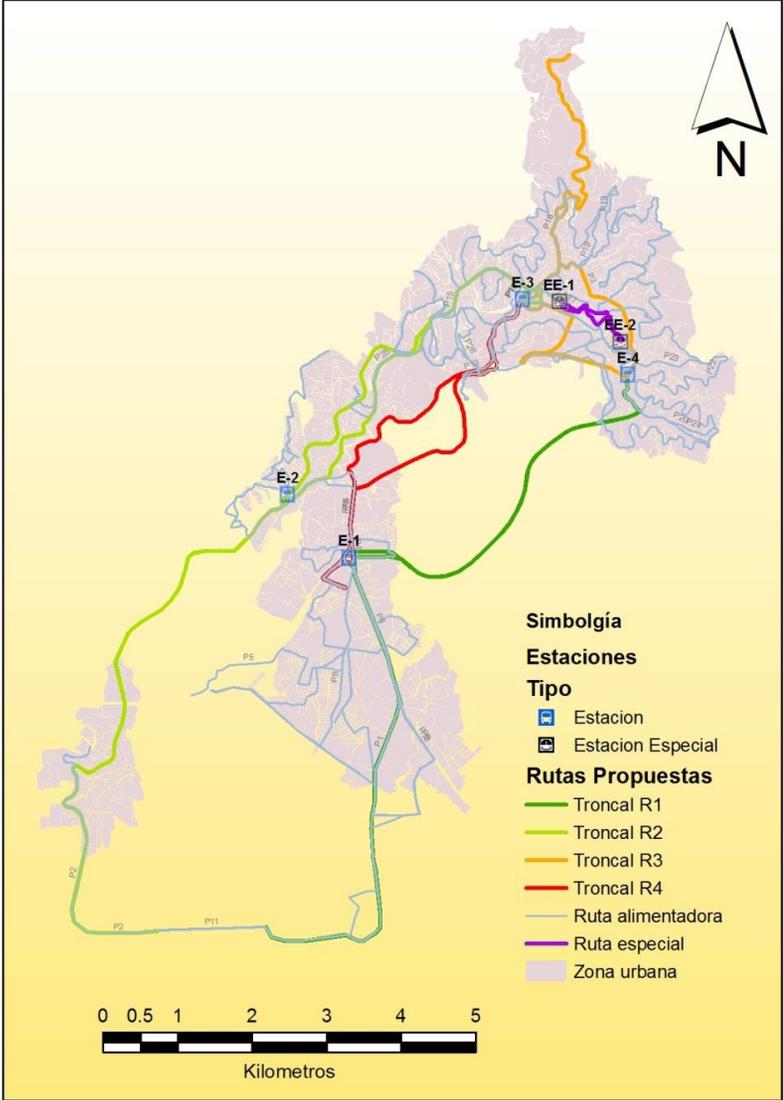


Figura 19. Ubicación de líneas y centrales de transbordo en la propuesta optimizada.

IV.5. COMPROBACIÓN

Se muestran los resultados obtenidos de la aplicación de los criterios propuestos en la metodología de optimización, de acuerdo con el orden indicado en el capítulo IV.5.1.

- a. Cobertura. La tabla 20 muestra los valores obtenidos comparados con la situación actual.

Tabla 20. Cobertura general de líneas con la propuesta

Indicador	Actual	Propuesta	Diferencia (m)	Diferencia (%)
Longitud de vialidades de ruta (m)	208,762	208,762	0	0%
Distancia total recorrida por las líneas urbanas (m) =	386,999	319,113	-67,886	-17.5%
Distancia total recorrida de vialidades (m) =	82,506	141,905	59,399	71.99%
Porcentaje de uso de las líneas en las vialidades disponibles =	39.52%	67.97%		28.45%

Se ha logrado reducir en 67.9 Km equivalentes a 17.5% la longitud total que recorren las líneas, con lo cual se obtiene ahorro en combustible y tiempos de recorrido de autobuses, pero se obtiene un incremento de 59.4 Km que significan el 72% adicional a la cobertura de vialidades de las líneas, con lo que se acerca mucho más a los usuarios con los diferentes destinos de la ciudad. Sin embargo no se ha logrado cubrir más del 80% propuesto a priori pues solo se llegó al 67.97% de la red vial.

El número de líneas mínimo propuesto a priori fue 23, y se ha llegado a 26 más una especial, además de que en las líneas 13, 16 y 19 se propone que el recorrido se haga en ambos sentidos, de modo que éstas son dobles, dando un total de 30, con lo que se cumple el número.

Con respecto a la cobertura de equipamiento por zona, se tienen los resultados mostrados en la tabla 21.

Tabla 21. Valores de cobertura de equipamiento con la propuesta.

Zona	% de equipamiento urbano en la zona								
	a 50 m de la línea			a 100 m de la línea			a 150 m de la línea		
	Actual	Meta	Propuesta	Actual	Meta	Propuesta	Actual	Meta	Propuesta
Guanajuato	61%	90%	81%	84%	95%	98%	90%	100%	99%
Marfil	30%	75%	55%	58%	90%	85%	67%	95%	91%
Yerbabuena	0%	75%	31%	0%	90%	54%	0%	95%	69%
Santa Teresa	0%	50%	27%	0%	75%	73%	0%	90%	82%

La cobertura planteada como propuesta solo se ha cumplido en la zona Guanajuato a distancias de 100 m y 150 m, aunque se observa que en todas las zonas el incremento es considerable.

En la tabla 22 se describe el detalle de la cobertura para cada tipo de equipamiento:

Tabla 22: Detalle de cobertura de equipamiento con la propuesta

Equipamiento	total	En cobertura	% cobertura	Observaciones
Zona Guanajuato	208	204	98%	4 fuera
Escuelas 50 m	80	58	73%	22 fuera
Escuelas 100 m	80	77	96%	Se cumple
Hospitales 50 m	14	13	93%	Se cumple
Comercios 100 m	11	11	100%	Se cumple
Templos 150 m	36	36	100%	Se cumple

Tabla 22: Detalle de cobertura de equipamiento con la propuesta (continuación)

<i>Equipamiento</i>	<i>total</i>	<i>En cobertura</i>	<i>% cobertura</i>	<i>Observaciones</i>
Palacio Gob. 200 m	2	2	100%	Se cumple
Panteones	2	2	100%	Se cumple
Parques, plazas o museos 200 m	63	63	100%	Se cumple
Zona Marfil	33	30	91%	3 fuera
Escuelas	13	5	38%	8 fuera
Escuelas 100 m	13	10	77%	3 fuera
Plazas o parques 200 m	12	12	100%	Se cumple
Hospitales 50 m	3	3	100%	Se cumple
Templos 150 m	4	4	100%	Se cumple
Panteón 200 m	1	1	100%	Se cumple
Zona Yerbabuena	13	7	54%	6 fuera
Escuelas	9	3	33%	6 fuera
Escuelas 100 m	9	4	44%	5 fuera
Centro de salud 50 m	1	0	0%	1 fuera
Templos 150 m	2	2	100%	Se cumple
Plazas 200 m	1	1	100%	Se cumple
Zona Santa Teresa	11	5	45%	11 fuera
Escuelas	7	1	14%	6 fuera
Escuelas 100 m	7	4	57%	3 fuera
centro de salud 50 m	1	0	0%	1 fuera
Templos 150 m	2	1	50%	1 fuera
Parques 200 m	1	0	0%	1 fuera

La cobertura de distancias a 50 m de las escuelas ha sido inadecuada, de modo que se evaluó con el criterio de distancia de 100 m la cual sigue siendo aceptable pues representa menos de 2 minutos de camino a pie y con ésta se analiza la optimización.

Se observa que en la zona Guanajuato se cumple la meta de optimización para todos los criterios. Para la zona Marfil solo quedan tres centros educativos fuera, los cuales son: el club deportivo y social ASTAUG, la escuela Ema Godoy en la Col. Las Bateas y el Kinder Prof. Esperanza López en la calle Jazmín; en la zona Yerbabuena no se cubren 5 escuelas y un centro de salud, los cuales son: Esc. Juan Bautista Morales en Fracc. Mártires 22 de abril, la preparatoria abierta SEP en carr. a la Saucedá, tres escuelas en los caminos cercanos a la Presa Yerbabuena, y el centro de Salud Yerbabuena; en la zona Santa Teresa quedan fuera de cobertura tres escuelas, un centro de salud, un templo y un parque.

Se ha decidido no extender la cobertura a los elementos descritos, por las siguientes razones:

- En términos de porcentaje para todo el centro de población, se alcanza 98%, el cual es suficiente para considerar como alcanzada la optimización aunque en el detalle no se haya logrado para todos los elementos.
 - Para poder cubrir los elementos faltantes y alcanzar los porcentajes determinados a priori como metas de optimización, sería necesario incrementar la infraestructura vial, así que la razón descansa en la falta de un ordenamiento territorial que provoca que el equipamiento urbano no sea fácilmente accesible a los servicios públicos. Aún así la distancia a la que se encuentran los elementos no cubiertos, es menor a 350 m. en todos los casos lo que significa menos de 6 minutos a pie.
- b. Distancias de recorrido que sean consistentes con las dimensiones de la zona urbana. En la tabla 22 y figura 20 se observan los resultados.

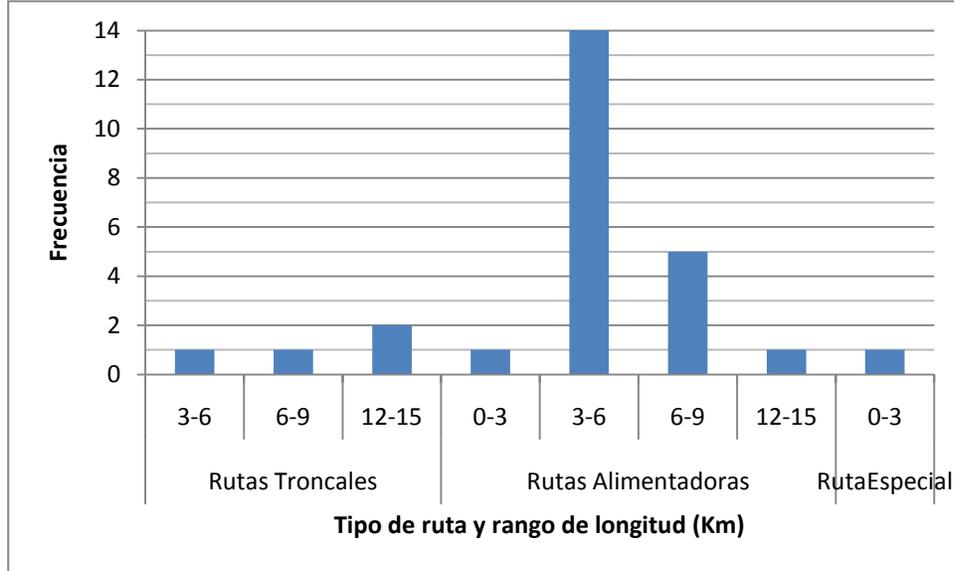


Figura 20. Distribución de frecuencias para las distancias de recorrido de líneas de transporte propuestas

Tabla 22. Resumen de longitudes de líneas de transporte urbano (medio circuito)

Longitud	Actual		Propuesta	
	Troncales	Alimentadoras	Especial	
Longitud promedio de línea =	8.0	10.25	5.16	1.32
Distancia línea más larga =	15.6	14.76	12.72	1.32
Distancia línea más corta =	4.4	5.97	2.71	1.32

De la gráfica y cuadro se observa que la longitud máxima en las líneas más largas (troncales) es de casi 15 Km y mayores a 12 Km en las líneas alimentadoras, lo que excede los 9 Km propuestos como máximo. En el caso de los mínimos, son de 6.0 y 2.7, este último también queda fuera del límite propuesto. La línea especial no se califica con este criterio por ser su objetivo diferente. La dispersión de frecuencias en las líneas troncales es notoria, y en las alimentadoras se agrupa hacia longitudes menores de 9 Km.

Cabe mencionar que aunque se pueden diseñar las modificaciones que ajusten las longitudes a los rangos propuestos, se provocaría mayor repetitividad de paso de líneas por algunos tramos. Por otro lado, las distancias máximas obedecen a que las líneas troncales se hacen llegar a los extremos de la zona urbana, específicamente Valenciana y Santa Teresa, por donde no existe una concentración de población, ni equipamiento urbano que justifique la introducción de líneas alimentadoras, además de que la topografía en Valenciana hace imposible el uso de vialidades alternas que tengan continuidad de línea, como se observó en la figura 5.

- c. El traslado entre dos puntos cualesquiera en cero, uno o dos transbordos. Para identificar con claridad los transbordos, se muestra la figura 21, la cual presenta las conexiones necesarias. Como complemento a esta tabla se presenta la tabla 23 donde se indican los tiempos promedio de recorridos y número de transbordos para cada línea.

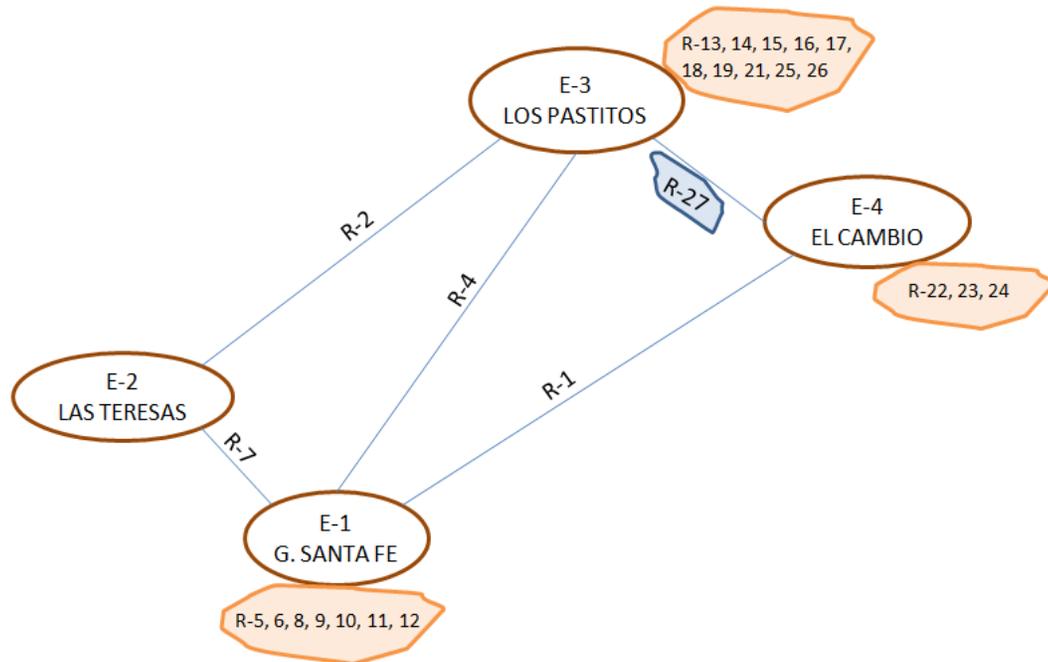
Tabla 23. Resultados para el parámetro de transbordos y tiempos de traslado para el sistema de líneas propuesto

Indicador	Tiempo de Línea	Observacion
Tiempo de traslado máximo en una misma línea	Meta: 30 minutos máximo	
Línea 1a	26	Adecuado
Línea 1b	27	Adecuado
Línea 2a	28	Adecuado
Línea 2b	36	Mayor
Línea 3a	19	Adecuado
Línea 3b	25	Adecuado
Línea 4a	15	Adecuado
Línea 4b	15	Adecuado
Línea 5	24	Adecuado

Tabla 23. Resultados para el parámetro de transbordos y tiempos de traslado para el sistema de líneas propuesto (continuación)

<i>Indicador</i>	<i>Tiempo de Línea</i>	<i>Observacion</i>
Línea 6	10	Adecuado
Línea 7a	15	Adecuado
Línea 8	18	Adecuado
Línea 9	21	Adecuado
Línea 10	19	Adecuado
Línea 11	19	Adecuado
Línea 12	25	Adecuado
Línea 13	23	Adecuado
Línea 14	25	Adecuado
Línea 15	18	Adecuado
Línea 16	23	Adecuado
Línea 17	29	Adecuado
Línea 18	25	Adecuado
Línea 19	24	Adecuado
Línea 20	28	Adecuado
Línea 21	28	Adecuado
Línea 22	23	Adecuado
Línea 23	10	Adecuado
Línea 24	18	Adecuado
Línea 25	28	Adecuado
Línea 26	19	Adecuado
Línea 27	13	Adecuado

Figura 21. Relaciones de puntos de conexión entre líneas



Se tiene solo una línea donde el tiempo de traslado total es mayor a 30 minutos, pero corresponde a una troncal, lo cual fue aclarado en el apartado correspondiente, quedando como tiempo aceptable.

En conclusión para este criterio, se alcanza la optimización buscada.

- Mínima repetitividad de pasos de líneas por un mismo tramo. En la tabla 24 se puede observar la distribución estadística de saturación para la longitud de vialidades con la propuesta, y la figura 22 presenta el resultado comparativo de la situación actual y la de la propuesta.

Tabla 24. Resultados para el parámetro de saturación de vialidades con el sistema de líneas propuestas

cantidad	Longitud	% alcanzado	Meta	Observación
% de tramos sin circulación de líneas	66,857.28	32%	Menos del 30%	Excede 2%
% de tramos con un solo paso de líneas	55,948	27%	Más del 50%	Falta al menos 23%
% de tramos con 2 a 9 pasos de líneas	84,804	41%	Menos de 40%	Excede 1%
% de tramos con 10 a 20 pasos de líneas	1,152	0%	0%	Se cumple
% de tramos con más de 20 pasos de líneas	0	0%	0%	Se cumple

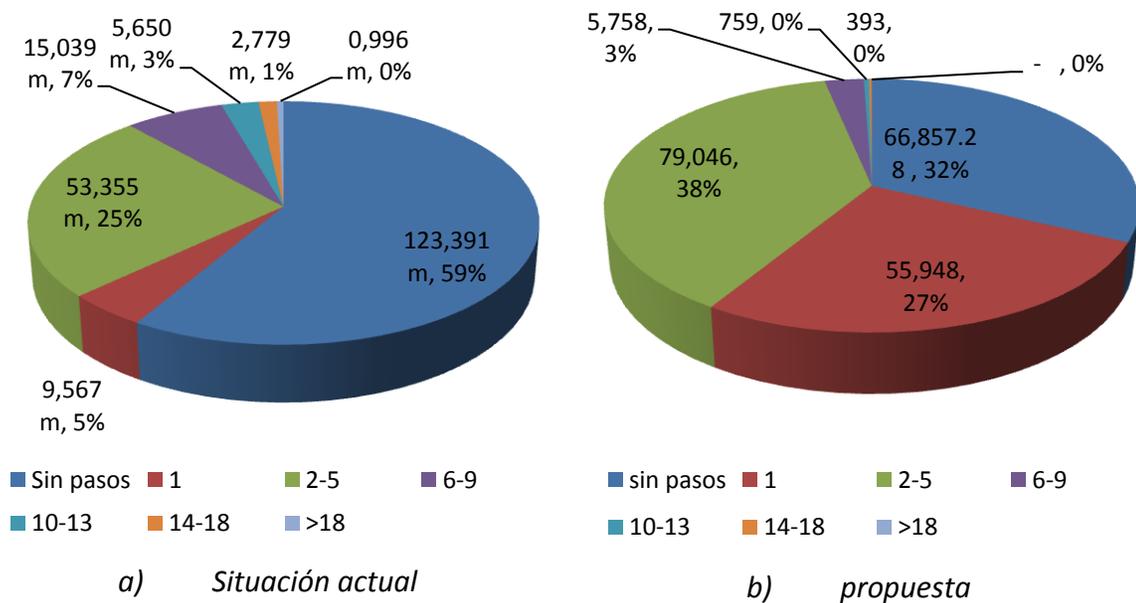


Figura 22. Comparación de saturación de vialidades con las líneas de transporte entre la situación actual y la propuesta.

Se observa que solo un 3% de la longitud de vialidades disponibles es circulada por más de 6 pasos, lo cual significa un 97% de vialidades con 5 o menos pasos de línea de transporte, que a su vez es un reflejo del alto grado de amplitud en la cobertura de la red.

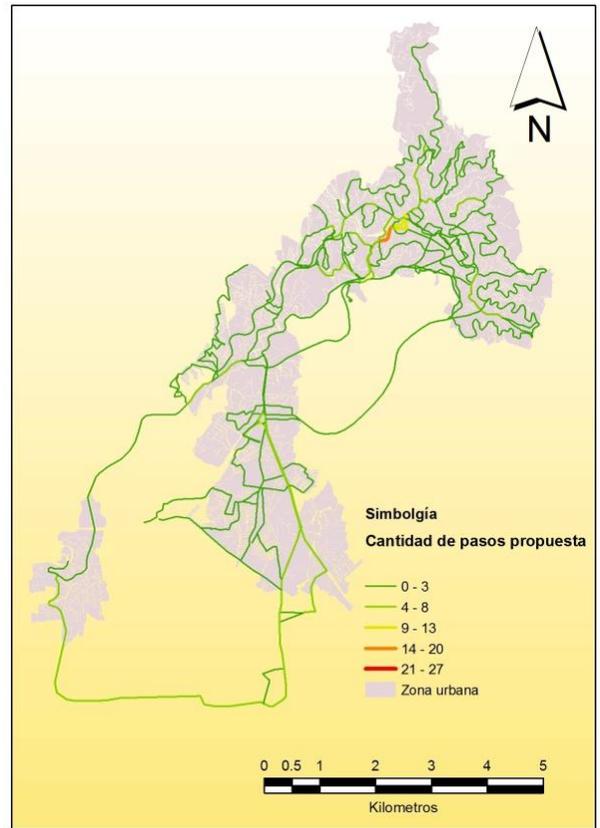
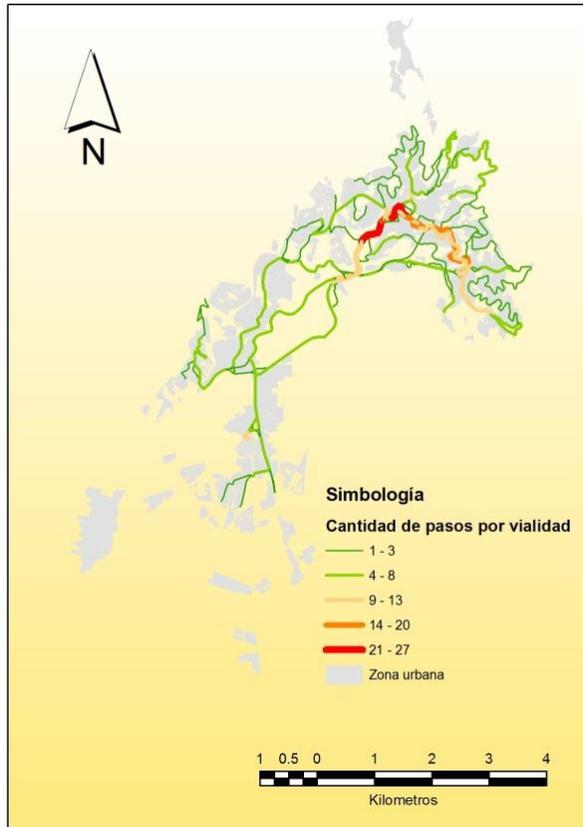
En conclusión, a pesar de no haber alcanzado la cobertura planteada de 80%, la manera como se han distribuido las líneas permite que desde el punto de vista de saturación de vialidades, se alcance la optimización.

La imagen de la figura 23 permite obtener una idea precisa de la distribución alcanzada con la propuesta, comparada con el estado actual. La figura 24 presenta la misma información pero en un acercamiento de detalle hacia la zona centro.

Además de los resultados mostrados, es pertinente generar un nuevo criterio de optimización llamado cantidad de líneas por puntos conflictivos, como se puede observar en la tabla 25.

Aunque no se estableció una meta, se planteó como criterio que la cantidad de líneas debería ser menor que en la condición actual, lo cual se está logrando claramente en todos los casos.

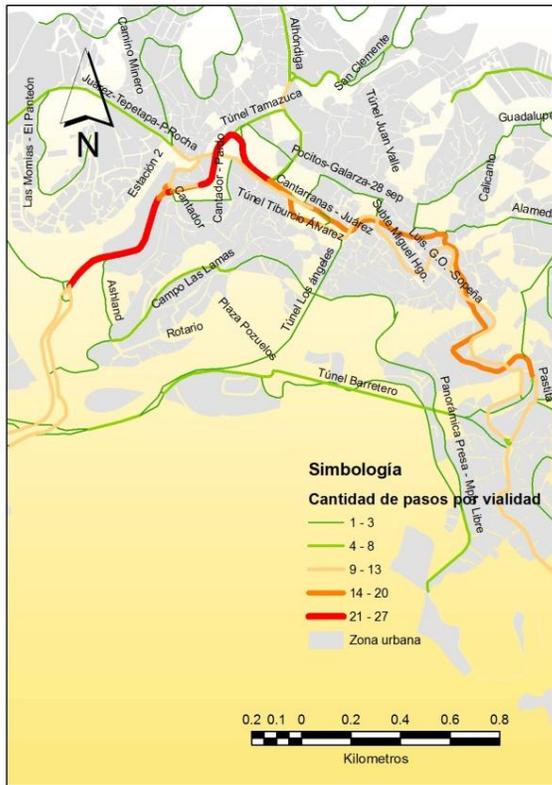
Cabe hacer mención de que en el momento presente algunos de los tramos elegidos como paso de línea, principalmente en la zona sur, se encuentran en condiciones deficientes de operación por carecer de pavimento o tener muy deteriorado el existente. Sin embargo, como se planteó en la justificación del trabajo, uno de los objetivos indirectos del trabajo es crear un criterio de decisión para la administración municipal, sobre las vialidades a las que de manera prioritaria se les deberá dar el adecuado mantenimiento.



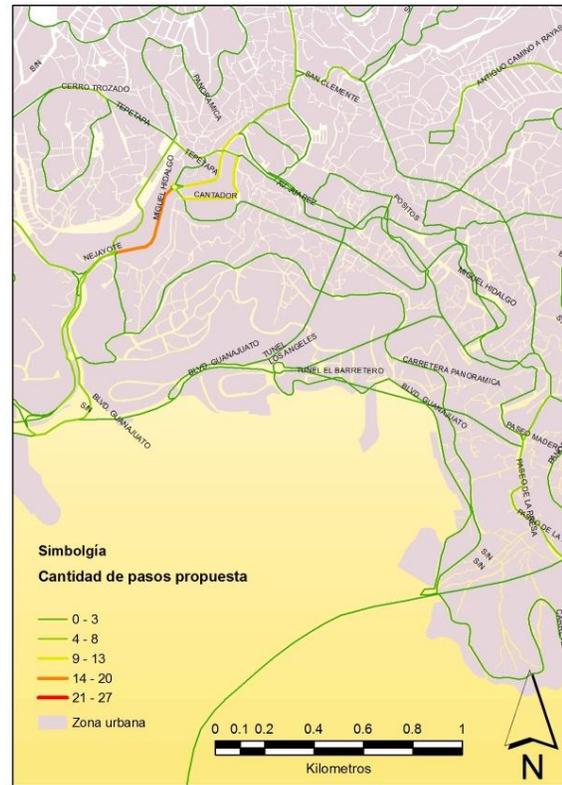
A) Situación actual

B) Propuesta

Figura 23. Comparación de saturación de vialidades y cobertura de la zona urbana.



A) Situación actual



B) Propuesta

Figura 24. Comparación de saturación de vialidades y cobertura en la zona centro

Tabla 25. Comparación del parámetro de saturación de vialidades en los puntos conflictivos

Punto	Cantidad de Pasos de línea actual	Cantidad de pasos de línea con proyecto
Intersecciones		
5 de mayo	12	1
Juárez - Alonso	14	1
Embajadoras - Aztecas	16	3
Embajadoras – Túnel el Barretero	12	3
Insurgencia - Alhóndiga	12	3
Mendizábal - Juárez	17	2

Tabla 25. Comparación del parámetro de saturación de vialidades en los puntos conflictivos (continuación)

Punto	Cantidad de Pasos de línea actual	Cantidad de pasos de línea con proyecto
Glorietas		
Dos Ríos	10	7
Ford	26	13
Cervantina	7	2
Mineros	14	4

IV.6. VARIABLES ADICIONALES

Se hizo además una precisión a la propuesta, en términos de características operativas tales como diseñar la ubicación de paradas de autobús, la frecuencia de paso de autobuses, tipo de unidades por línea y el número de unidades necesario en el sistema de transferencia de transporte enfocado al menor tiempo y costo para los usuarios.

Se describe cada uno de estos valores y la manera como han sido obtenidos:

IV.6.1. UBICACIÓN DE PARADAS DE AUTOBÚS

Tomando los criterios establecidos por SEDESOL y las distancias propuestas para la cobertura de elementos de equipamiento urbano, se propuso una distancia máxima de 200 m entre paradas en las áreas urbanas (calles), y de 400 m en las áreas suburbanas (carretera dentro de zona urbana), lo cual equivale a distancias máximas de camino de 100 y 200 m respectivamente para que el usuario llegue a cualquiera de las dos paradas más cercanas, es decir 2 o 4 minutos caminando a 3 Km/h (niños o adultos promedio), o a 3 y 6 minutos a

velocidad de 2 Km/h (adultos mayores). Se hicieron excepciones en los tramos que pasan por carreteras fuera de población en donde están más separadas. Se tomó como criterio de seguridad que dentro de los túneles no haya paradas, a menos que existan accesos peatonales a menos de 100 m. Se tomó en cuenta que las distancias entre paradas son establecidas para cada línea, pues aunque en línea recta existan puntos más cercanos, si son de líneas diferentes lo más probable es que para trasladarse entre ellos sea necesario cruzar callejones u otras vías no vehiculares con características desfavorables por pendiente u obstáculos, o inclusive puede ser necesario dar largos rodeos.

De la propuesta resultan 663 paradas. Su ubicación se muestra en la figura 25.

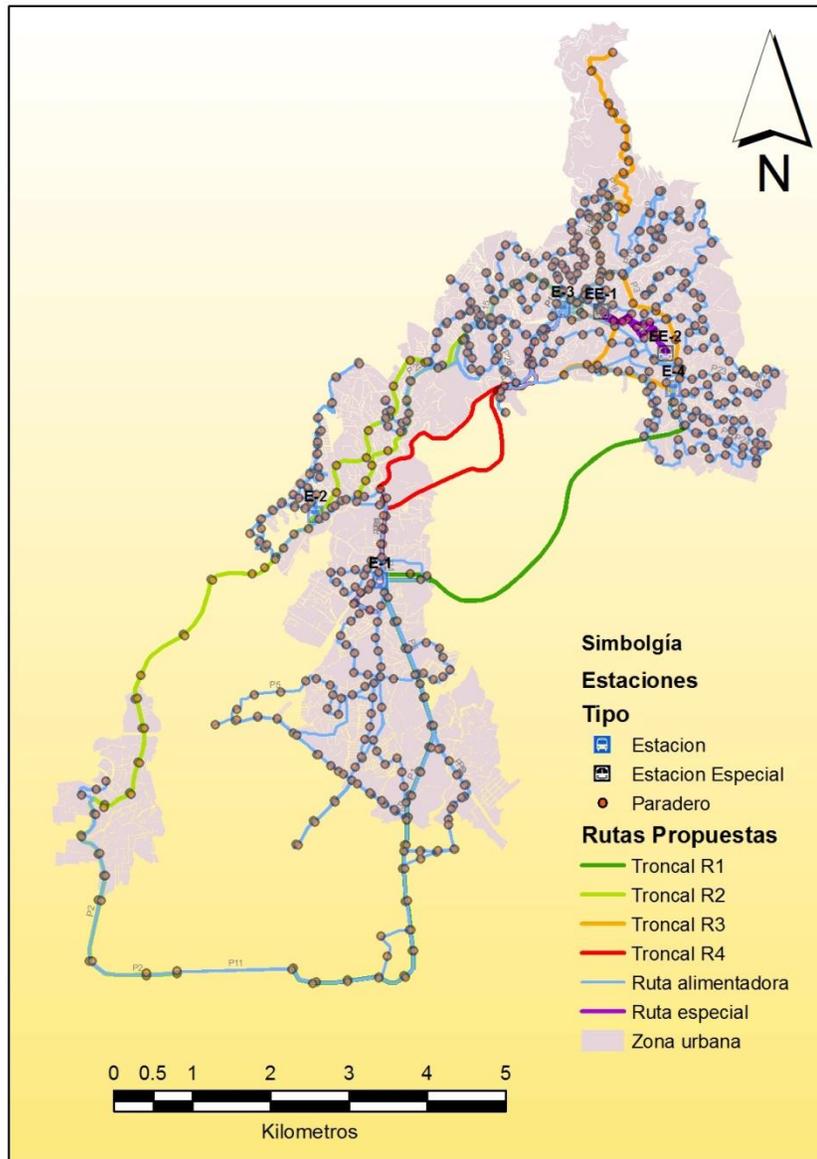


Figura 25. Propuesta de ubicación de paradas

IV.6.2. TIPO DE UNIDADES POR LÍNEA

El tipo de unidad debe corresponder a la capacidad necesaria para el transporte de pasajeros, que a la vez depende de la demanda y de la zona por la cual circule la línea. De este modo se estableció que:

Para las líneas troncales (líneas 1, 2, 3 y 4), las unidades deberán tener capacidad de más de 35 asientos. Se muestran dos ejemplos en la figura 26.

Para las líneas alimentadoras (líneas 5 a 20, 22 y 24), las unidades deben ser de menor capacidad con vehículos tipo VAN, como en los 4 ejemplos que se proponen en la figura 27.

En el caso de la línea 21 que circula por la Calle Alameda y la 26 que circula por la bajada de Noria Alta, las unidades serán tipo VAN pero con capacidad de 10 pasajeros o menos.



Industrias Godoy, G2. 37 asientos



Mercedes Benz Boxer 40, desde 25 hasta 47 asientos

Figura 26. Tipo de unidades para las líneas troncales propuestas

La línea 27 (especial) por su vocación turística y paso específico por la zona del centro histórico, las unidades serán del tipo Rickshaw o bici taxis, como las mostradas en la figura 28.



Chevrolet Express, 15 pasajeros



Crysler H100 Wagon, 12 pasajeros



Mercedes Benz Sprinter Wagon, 11 pasajeros



Nissan Urvan, 15 pasajeros

Figura 27. Tipo de unidades para las líneas alimentadoras propuestas



Golf taxi, 3 pasajeros



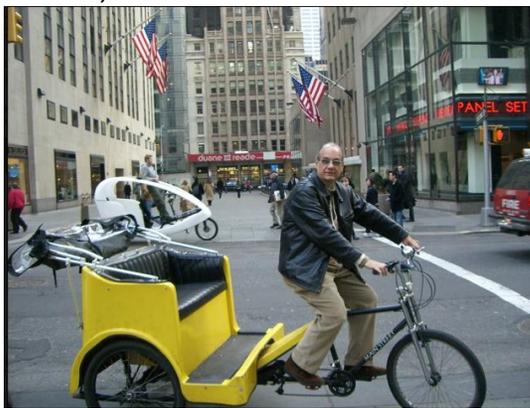
Bici taxi, fabricante Juan Manuel Parada, Talca, Chile



Bici taxi, centro histórico México D.F.



Bici taxi, Sevilla, España.



Bici taxi, Cd. De Nueva York



Bici taxi, La Habana, Cuba

Figura 28. Tipo de unidades para la línea especial propuesta

IV.6.3. NÚMERO DE UNIDADES NECESARIO

Se partió de los datos de población para la ciudad de Guanajuato y las poblaciones ubicadas dentro de la cobertura de las líneas de la zona urbana, lo que se muestra en la tabla 26 (censo de Población y Vivienda 2010). Se muestran además los datos de población mayor de 3 años, que es la que correspondería a los usuarios de las unidades, y también las líneas que le corresponden a su ubicación.

Tabla 26. Número total de habitantes en las poblaciones dentro de la cobertura del sistema propuesto

Nombre de localidad	Población total	Pob. 3 años y más	Líneas en la zona
Guanajuato	72,237	67,455	1 a 4, y 13 a 27
San José de Cervera (Cervera)	1,629	1,520	5 y 10
Cuevas (Huachimole de Cuevas)	679	647	1 y 11
El Maluco	637	605	1, 9 y 11
Marfil	29,375	26,647	1, 2, 4 a 12 y 25
Paso de Pirules (Paso de Perules)	1,189	1,103	8
Puentecillas	2,799	2,631	1, 9 y 11
Santa Catarina de Cuevas (El Tinaco)	769	715	11
Santa Teresa	6,998	6,571	2, 11
Yerbabuena	8,399	7,697	1,8 a 11
Solano	61	57	9 y 10
Nochebuena	205	198	2
La Aldana (Ramón Rangel)	11	11	15
Lomas de Cervera	74	68	10
Atrás del CERESO	9	9	1, 9, 11
San José de la Luz	153	144	2
Los Pinos	32	31	11
Hotel del Magisterio	10	10	2, 11

Tabla 26. Número total de habitantes en las poblaciones dentro de la cobertura del sistema propuesto (continuación)

Nombre de localidad	Población total	Pob. 3 años y más	Líneas en la zona
Fraccionamiento Colonial Guanajuato	384	340	1, 9, 10, 11
Fraccionamiento Arboledas	601	530	1, 9, 10, 11
Fraccionamiento Villas de Guanajuato	1,114	1,024	8
Fraccionamiento Balcones de la Esperanza	4	4	3
UCEA Campus Marfil	11	11	4, 13
Granja San Martín (subida a la cuesta)	9	9	1
Total	127,389	118,037	

No se omite la necesidad de considerar las variaciones de la cantidad de usuarios así obtenida, con respecto a otras variables como son: cantidad de personas que manejan, cuántos trabajan fuera de la ciudad, cantidad de personas que se traslada a pie, número de vehículos particulares por familia, preferencia de traslado en automóvil, entre otras. Sin embargo al carecer de la información estadística correspondiente, se tomaron solamente los valores de población y se aplicó un factor de reducción del 50% como consideración de las variables mencionadas.

Para establecer un cálculo preciso del número de unidades necesario para cada línea en función de la población total y del equipamiento dentro de su cobertura, también sería necesario conocer mediante estudios de origen – destino, las características de movilidad de la población dentro de la zona urbana, lo cual queda fuera de los alcances del presente trabajo. Sin embargo como parte del objetivo de proponer un modelo de optimización, se calculó el número de unidades en función de la frecuencia deseable de paso, de tal manera que se mantenga dentro de rangos aceptables para el usuario, y que el número de pasajeros total sea congruente con la población. El número de pasajeros por unidad se tomó como igual al número de asientos, más un 30% de pasajeros de pie. De esta manera, para las

unidades de 47 asientos, la capacidad será de 61 pasajeros; para las unidades menores, no se consideran pasajeros de pie.

Esta información permite obtener el arreglo de población a atender para cada una de las líneas mostrado en la tabla 27:

Tabla 27. Población a atender por línea en el sistema propuesto.

Línea	Población	Línea	Población	Línea	Población
1	38,214.08	10	7,400.03	19	4,497.00
2	32,669.08	11	16,974.03	20	4,497.00
3	16,867.75	12	2,960.78	21	4,497.00
4	25,757.08	13	4,508.00	22	4,497.00
5	4,480.78	14	4,497.00	23	4,497.00
6	2,960.78	15	4,508.00	24	4,497.00
7	2,960.78	16	4,497.00	25	7,457.78
8	5,909.03	17	4,497.00	26	4,497.00
9	10,160.03	18	4,497.00	27	4,497.00

El cálculo de la población para cada línea obedeció a las siguientes consideraciones:

- Las líneas troncales atienden cada una a la cuarta parte de la población de Guanajuato capital, a la tercera parte de Marfil, y al 100% de las del resto de las comunidades.
- Las líneas alimentadoras correspondientes atienden en parte proporcional a la población de Guanajuato capital, Marfil y Yerbabuena, y al 100% de las comunidades.

Se acepta en general que en el caso de las líneas troncales pueda pasar un autobús de la misma línea cada 3 a 7 minutos, y para las alimentadoras cada 5 a 10 minutos lo cual significa que el tiempo de recorrido total debe dividirse en fracciones de este lapso para obtener el número de unidades por línea, siempre y cuando se garantice que el total de

usuarios diario atendido es suficiente para la población. El resultado se muestra en la tabla 28.

Tabla 28. Cálculo de unidades necesarias para el sistema propuesto.

Línea	Tiempo de circuito	Capacidad de la unidad	Población atendida	Cantidad de pasos de unidad requeridos	Cantidad de pasos por unidad al día	Cantidad de unidades necesarias	Frecuencia de paso (minutos)	Pasajeros transportados por hora
Línea 1	53	61	19,107	314	18	18	3	1,244
Línea 2	64	61	16,335	268	15	18	4	1,030
Línea 3	44	61	8,434	139	21	7	6	583
Línea 4	30	61	12,879	212	24	9	3	1,099
Línea 5	24	15	2,240	150	40	4	6	151
Línea 6	10	15	1,480	99	96	2	5	181
Línea 7	15	15	1,480	99	64	2	8	121
Línea 8	18	15	2,955	197	53	4	5	201
Línea 9	21	15	5,080	339	45	8	3	343
Línea 10	19	15	3,700	247	50	5	4	237
Línea 11	19	15	8,487	566	50	12	2	569
Línea 12	25	15	1,480	99	38	3	8	109
Línea 13	23	15	2,254	151	41	4	6	157
Línea 14	25	15	2,249	150	38	4	6	145
Línea 15	18	15	2,254	151	53	3	6	151
Línea 16	23	15	2,249	150	41	4	6	157
Línea 17	29	15	2,249	150	33	5	6	156
Línea 18	25	15	2,249	150	38	4	6	145
Línea 19	24	15	2,249	150	40	4	6	151
Línea 20	28	15	2,249	150	34	5	6	161
Línea 21	28	15	2,249	150	34	5	6	161
Línea 22	23	15	2,249	150	41	4	6	157
Línea 23	10	15	2,249	150	96	2	5	181
Línea 24	18	15	2,249	150	53	3	6	151
Línea 25	28	15	3,729	249	34	8	4	258
Línea 26	19	15	2,249	150	50	4	5	190

Tabla 28. Cálculo de unidades necesarias para el sistema propuesto (continuación)

<i>Línea</i>	<i>Tiempo de circuito</i>	<i>Capacidad de la unidad</i>	<i>Población atendida</i>	<i>Cantidad de pasos de unidad requeridos</i>	<i>Cantidad de pasos por unidad al día</i>	<i>Cantidad de unidades necesarias</i>	<i>Frecuencia de paso (minutos)</i>	<i>Pasajeros transportados por hora</i>
Línea 27	13	2	2,249	1,125	73	16	1	148
Totales						167		8,337

Los valores deben ser objeto de un análisis de demanda por hora, de modo que en el lapso de 7:00 a 8:30 a.m. y de 1:00 a 2:00 p.m. la frecuencia sea mayor, y mínima de 9:00 a 12:00 p.m.

V. CONCLUSIONES

Para obtener las conclusiones de manera objetiva, se evaluó el cumplimiento de los objetivos y la hipótesis del trabajo.

El objetivo general fue diseñar un modelo de optimización para la prestación del servicio de transporte de autobuses de pasajeros municipal en Guanajuato capital utilizando un sistema de información geográfica y un inventario actualizado de la red vial. En el capítulo *IV.5 Diseño de modelos de optimización* se establecieron criterios para medirla, y el proceso para llegar a ella. Los resultados se han mostrado en el capítulo *IV.5.2 Proceso*. De manera resumida se tiene:

Cobertura

En términos globales se ha alcanzado a cubrir el 67.97% de la red de vialidades de ruta, pero aunque no se alcanzó el 80% propuesto a priori, cuando se analiza la cobertura alcanzada en el equipamiento urbano, se llega al 98%. Para ello se modificó el criterio de distancia a las escuelas, de 50 a 100 m lo cual sigue siendo aceptable. En los elementos donde no fue posible llegar a la cobertura propuesta se ha decidido no modificar las líneas, en función de las limitaciones provocadas por la falta de un ordenamiento territorial que provoca el equipamiento urbano no sea fácilmente accesible a los servicios públicos. Con estas consideraciones, en términos estadísticos se ha logrado la optimización.

Distancias de recorrido de acuerdo con las dimensiones de la zona urbana

Este criterio no se cumple cabalmente, pero su impacto en la eficiencia del sistema es secundario, aún así sirvió como referencia de diseño de líneas. Los extremos que rebasan los

límites propuestos obedecen a la configuración geográfica de la ciudad, en donde las zonas de Valenciana, Santa Teresa, zona sur y zona centro no están comunicadas por una continuidad de áreas urbanas, de modo que fue necesario generar líneas troncales que para llegar a los puntos extremos deben transitar por tramos carreteros intermedios no urbanos. En esos términos, no es conveniente modificar el sistema para ajustar las dimensiones, de modo que también se considera lograda la optimización.

Traslado entre dos puntos cualesquiera en cero, uno o dos transbordos.

Se ha logrado con el diseño del sistema mediante cuatro estaciones de transbordo en puntos estratégicos de la zona urbana, cuatro líneas troncales y 22 líneas alimentadoras, más una línea especial en el centro histórico.

Mínima repetitividad de pasos de líneas por un mismo tramo.

En los porcentajes con cero pasos, faltó reducir el 2% de longitud para alcanzar la meta; para un solo paso, faltó cubrir el 23%, y de 2 a 9 pasos hubo un exceso de 1% para cumplirla. En más de 10 pasos se ha logrado la meta. Aunque en términos aritméticos no se ha logrado la optimización, en términos estadísticos sí se ha alcanzado lo que se refleja principalmente en haber atendido el enfoque de eliminar la saturación de vías.

En cuanto a la saturación de líneas en los puntos conflictivos, aunque no se estableció una meta para este parámetro, en todos los puntos se logró una disminución importante de pasos, lo que también contribuye a obtener la optimización del sistema.

Como conclusión del objetivo general, se puede afirmar que a pesar de que en algunos parámetros no se lograron los valores propuestos como meta, el resultado general sí es un sistema optimizado.

Los objetivos específicos han sido:

- Identificar las variables que intervienen en la prestación del servicio de transporte de autobuses de pasajeros y determinar su importancia en el proceso. Esto se logró al proponerlo en el capítulo III.3 *Identificación de variables*, y medirlas en el capítulo IV.1 *Medición de variables*, cumpliéndose cabalmente.
- Establecer indicadores de desempeño en la aplicación del transporte de autobuses de pasajeros en el municipio con especial énfasis a la cobertura espacial. Esto se propuso en el capítulo IV.4 *Indicadores* y fue medido en el capítulo IV.2 *Evaluación de indicadores*, de modo que este objetivo también fue logrado con éxito.
- Crear una base de datos que pueda actualizarse de acuerdo con la función de las diferentes áreas de la administración municipal para que cada una cuente con su propio modelo de optimización. Esto se logró en el capítulo III.2 *Información geográfica de la zona urbana*, donde se procesó la información base a partir de la información catastral digital con que cuenta la Dirección de Catastro municipal, y la información digital del INEGI, más el proceso de identificación y señalamiento de la infraestructura vial clasificada, De modo que el modelo puede ahora ser aprovechado para actualizarse con datos de campo o análisis geográficos que realice cualquier área de la administración municipal
- Relacionar las diferentes variables establecidas con las bases de datos mediante modelos aplicados en plataforma SIG. El modelo de optimización que ha sido motivo del presente trabajo ha sido desarrollado por completo en una plataforma SIG mediante el programa *ARC Map*. Se han elaborado los gráficos y tablas en el programa Excel a partir de las tablas de atributos del SIG.

En resumen fueron alcanzados los cuatro objetivos específicos planteados.

Como consecuencia de lo anterior y con apoyo de los temas tratados en el capítulo V. *Resultados y discusión*, se puede afirmar que la hipótesis con la que se planteó el trabajo ha podido ser demostrada, quedando pendiente la aplicación real que es objeto de un proyecto ejecutivo.

VI. RECOMENDACIONES

Aunque se han cubierto los alcances metodológicos para la optimización de la administración de los servicios públicos aplicada al transporte urbano de pasajeros, para que sea completamente aplicable es necesario realizar estudios adicionales específicos al área de interés. En el caso presente, se requiere un estudio a detalle de demanda en los diferentes sitios de equipamiento urbano, con énfasis especial a centros educativos y oficinas públicas. También se requieren estudios de origen – destino para determinar la frecuencia específica de paso y horarios a detalle de las líneas.

Habiendo encontrado un modelo que cumple con los criterios generales de optimización, la siguiente etapa de la investigación deberá consistir en la simulación mediante recorrido físico de las líneas para verificar que se cumplen las premisas de trayectoria, dirección del flujo, velocidades y tiempos promedio, y en caso necesario hacer los ajustes correspondientes.

Posterior a los estudios y la interpretación de resultados, la aplicación requerirá un período de implementación a nivel piloto, con campañas informativas y de divulgación a la sociedad, capacitación a los operadores, construcción de estaciones de transferencia y dotación de mamparas informativas en las paradas. Como medida adicional deseable, se diseñarán en las paradas donde exista la posibilidad física, bahías exclusivas para autobuses con separación de los carriles de circulación, para evitar la obstrucción del tránsito. También será deseable implementar los operativos donde se restrinja el estacionamiento en las paradas. Asimismo será importante que mediante los estudios técnicos de aforo y capacidad vial de los tramos por donde se han propuesto las líneas troncales, sea analizada la conveniencia de implementar carriles exclusivos para la circulación de los autobuses, así sea en forma parcial.

En la implementación, será necesario un monitoreo por medio de inspección fija o periódica del paso de unidades para verificar que se cumple con los horarios establecidos.

Las etapas mencionadas son específicas para el caso de estudio actual, por lo tanto el diseño de modelos de optimización para otros servicios requerirán actividades de implementación relativas a cada una de ellas.

Dado que el objetivo del trabajo ha sido optimizar los servicios municipales mediante el diseño de un modelo basado en un sistema de información geográfica, mismo que puede ser aplicado en la práctica, quedan como actividades subsecuentes el análisis de la información con el apoyo de los modelos específicos de asignación de transporte y otros adecuados a las áreas del servicio público a donde se pretenda ampliar este modelo geográfico, para depurar las soluciones técnicas convenientes con los criterios de economía y las variables técnicas correspondientes.

Se deben hacer los ajustes convenientes de acuerdo con criterios técnicos de la Dirección de Tránsito y Policía vial, pero debe considerarse que los tiempos para la frecuencia de paso son ligeramente superiores a los de los sistemas desarrollados de TRB (Molina, 2008).

LITERATURA CITADA

- Arriagada, R. 2002. Diseño de un sistema de medición de desempeño para evaluar la gestión municipal: una propuesta metodológica. Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social. ILPES Dirección de Gestión del Desarrollo Local y Regional. Serie Manuales. Santiago de Chile, Chile, pp. 55-62.
- Bocco, G. 2000. El desarrollo de sistemas de información geográfica en la frontera norte de México. Revista Investigaciones geográficas, boletín del instituto de Geografía UNAM, número 42,.
- Bus Priority Team. 2006. Accesible Bus Stop Design Guidance. Major of London. London.
- Darnell & Associates. 2006. Bus stop design guidelines. Omnitrans.
- Chías L., Iturbe A. y Reyna F. 2001. Accesibilidad de las localidades del Estado de México a la red carretera pavimentada: un enfoque metodológico. Revista Investigaciones geográficas, boletín del instituto de Geografía UNAM, número 46, p. 117
- Clarke C. 1986. Advances in geographic information systems, computer, environment and urban systems, volume 10, issues 3-4, Published by Elsevier Science Ltd, Pp 175-184.
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 5 de febrero de 1917. Texto vigente, última reforma publicada DOF 27-04-2010.
- Federal Highway Administration. 1999. GIS-Based Crash Referencing and Analysis System, Summary report, U.S. Department of Transportation. Turner-Fairbank Highway Research Center. Publication No. FHWA-RD-99-081.
- Fernández, J. 2002. Servicios públicos municipales. Instituto nacional de administración pública, A.C. México, pp 160 – 171 y 285 – 290.

- García N. H., García D. R. R., Moreno S. R. y González R. A. 2002. Uso de sensores remotos y SIG para delimitar los cambios en el uso del suelo agrícola de 1970 a 1997 en el Estado de Guanajuato. Revista Investigaciones geográficas, boletín del instituto de Geografía UNAM, número 47. P. 92.
- García N. H., López B. J., Moreno S. R., Villers R. M. L. y García D. R. R. 1999. Potencial agrícola del distrito de desarrollo rural 004, Celaya, Guanajuato, México. Una aplicación del enfoque de límites de transición gradual (“fuzzy”) utilizando SIG. Revista Investigaciones geográficas, boletín del instituto de Geografía UNAM, número 38. P 69.
- Goodchild M. F., 2009. Geographic information Systems and science: today and tomorrow, 6th International Conference on Mining Science and Technology, University of California, Santa Barbara, Procedia Earth and Planetary Science 1 P 1037.
- H. Ayuntamiento de Guanajuato. 2009. Plan de Gobierno Municipal 2009 – 2012. En <http://www.guanajuatocapital.gob.mx/plangob.pdf>
- INEGI. 2005. Censo de Población y vivienda 2005. Principales resultados por localidad. En <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/Proyectos/ccpv/default.aspx>, archivo iter_11txt95.zip
- INEGI. 2010. Censo de Población y vivienda 2010 Principales resultados por localidad. En <http://www.censo2010.org.mx/>, archivo iter_naltxt10.zip
- Kralich S. 2002. La ecuación “más privado, menos estatal”, quiénes ganan y quiénes pierden. El caso del servicio del transporte público en el Gran Buenos Aires. Revista Latinoamericana de Estudios Urbano Regionales. Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile, Pp. 12-13.
- Ley de Desarrollo Urbano para el Estado de Guanajuato. Ley publicada en el Periódico Oficial, 7 de octubre de 1997. Decreto número 377.
- Ley de Tránsito y Transporte del Estado de Guanajuato. Última reforma publicada en el periódico oficial del Estado de Guanajuato, número 205, segunda parte, de fecha 24 de diciembre de 2010

- Ley orgánica municipal para el Estado de Guanajuato. Última reforma publicada en el Periódico Oficial del Gobierno del estado de Guanajuato, número 93, segunda parte, de fecha 11 de junio de 2010. Ley Publicada En El Periódico Oficial, 25 De Julio De 1997. Decreto Número 350
- Litman T. 2010. Evaluating Public Transit Benefits and costs, Best practices guidebook, Victoria Transport Policy Institute.
- Luna G. L. y Chías B. L. 1999. El uso de SIG en el análisis de la distribución de accidentes en carreteras: el caso de Tamaulipas, México. Revista Investigaciones geográficas, boletín del instituto de Geografía UNAM, número 40.
- Ministerio del Interior, Chile. 2007. Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo. Sistema de Acreditamiento de los Servicios Municipales, gestión de calidad de los servicios municipales. Chile.
- Ministerio del Interior, Chile. 2007. Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo. Modelo de gestión de calidad de los Servicios Municipales, gestión de calidad de los servicios municipales. Chile.
- Molina G. D. 2008. Organización y desempeño de los bus rapid transit: los casos de transmilenio en Colombia, metrobús y optibús en México y SIT en Brasil. Tesis para obtener el grado de maestro en ciencias. Instituto Politécnico Nacional. México, Pp. 48-49.
- Moreno J. A. (coordinador). 2006. Sistemas y análisis de la información geográfica. Manual de Autoaprendizaje con Arc GIS. Ed. Alfaomega. Primera edición, México D.F.
- Newman P. y Kenworthy J. 2007. La situación del mundo, nuestro futuro urbano 2007. Worldwatch institute, Barcelona. Pp 150 – 170.
- Prado L. J. M., García S. I. M. 2004. Los indicadores de gestión en el ámbito municipal: Implantación, evolución y tendencias. Revista iberoamericana de Contabilidad de gestión (formato digital). Volumen II No. 4, Julio – Diciembre.

- Rodríguez M. J. A. 2005. Aportación metodológica para la evaluación de la sostenibilidad de planes y programas de infraestructuras de transporte. Aplicación al marco regional: Comunidad de Madrid. E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos (UPM). Tesis Doctoral.
- Salinas C. W. E., Treviño G. E. J., Jaramillo T. J. G. y Campos F. J. A. 2002. Identificación y clasificación de humedales interiores del estado de Tamaulipas por percepción remota y sistemas de información geográfica. Revista Investigaciones geográficas, boletín del instituto de Geografía UNAM, número 49, P 74.
- SEDESOL. 1999. Sistema Normativo de Equipamiento urbano. Tomo I. Educación y cultura. En <http://www.arq.unam.mx/edcontinua/pdfduis/me27.pdf>
- Sheppard, E. 2001. Geographic information systems, critical approaches. University of Minnesota, Minneapolis, International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences, Copyright © Elsevier Ltd. Pp 6182-6185
- Zhang, X. 2004. Designing a Geographic Visual Information System (GVIS) to Support Participation in Urban Planning. School of Construction and Property Management, University of Salford, Salford, UK. Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements of the Degree of Doctor of Philosophy.

ABREVIATURAS

BTR o BRT – Transporte rápido en autobús

Blvd. .- Boulevard.

CAD.- Programa de diseño asistido por computadora.

carr.- Carretera.

C.- Calle.

CERESO.- Centro de Readaptación Social.

Col.- Colonia.

COPLADEM.- Concejo de Planeación de Desarrollo Municipal.

Cfr. .- confróntese

Dem.- Demanda.

Dep.- Unidad deportiva.

Der.- Derecha

Distrib.- Distribuidor vial.

E.- Euquerio.

Esc.- Escuela.

Esq.- Esquina.

Et.al. .- y otros

Fco.- Francisco.

FFCC.- Ferrocarril.

Fracc. – Fraccionamiento.

Fte.- Frente.

G.- Glorieta.

GPS.- Sistema de Geo-posicionamiento satelital.

Ibíd, Ibídem.- allí, en el mismo lugar.

INEGI.- Instituto Nacional de Geografía e Informática.

Ini.- Inicio.

Inst. instituto

ISSSTE.- Instituto de Servicios y Seguridad Social para los Trabajadores del Estado.

Izq.- Izquierda.

Km, Kms.- Kilómetros.

Km/h.- Kilómetros por hora.

m.- metros.

Mins.- Minutos.

Mpio.- Municipio.

N.- Noria

P.- Pueblito.

Pl.- Plaza.

Prof.- Profesor.

SEESOL.- Secretaría de Desarrollo Social.

SEP – Secretaría de Educación Pública.

SIG.- Sistema de Información Geográfica.

Sta.- Santa.

UCEA.- Unidad de ciencias económico administrativas (universidad de Guanajuato)

VAN.- Camionetas de pasajeros.

Vial.- Vialidad.

U.- Universidad.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Aneja.- Unido o agregado a alguien o algo; con dependencia, proximidad y estrecha relación respecto a él o a ella

Arc View.- herramienta desarrollada la empresa estadounidense ESRI, con la que se pueden representar datos georreferenciados, analizar sus características y patrones de distribución y generar informes con los resultados de dichos análisis (tomado de wikipedia).

Arc Info.- antes llamado ARC / INFO, es un sistema completo de información geográfica producida por ESRI, y es el nivel más alto de licencias (y por lo tanto la funcionalidad) en la línea de productos ArcGIS Desktop. La capacidad de procesamiento de línea de comandos están disponibles a través de la interfaz gráfica de usuario de los productos ArcGIS Desktop. (tomado de wikipedia).

Bici taxi.- El bicitaxi (también rickshaw, tricitaxi, pedicab o velotaxi) es un vehículo destinado al transporte de pasajeros y construido bajo el principio de la bicicleta, accionado con tracción humana, con una capacidad de dos pasajeros adultos sentados y su conductor. Por razones obvias, su ámbito es el transporte urbano de pasajeros, especialmente para paseos turísticos por la ciudad. (tomado de wikipedia).

Calle urbana de acceso o local.- Vialidad pavimentada en zona urbana para circulación de vehículos automotores, que solo tiene acceso por uno de sus extremos.

Calle urbana de ruta.- Vialidad pavimentada en zona urbana para circulación de vehículos automotores, con acceso por más de un lugar en donde cada uno comunica a calles diferentes.

Caminos local.- Vialidad no pavimentada usada para circulación de vehículos automotores, que solo tiene acceso por uno de sus extremos.

Derrotero.- Camino, rumbo, medio tomado para llegar al fin propuesto.

Eficiencia.- Capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un efecto determinado.

Optimización.- Acción y efecto de optimizar.

Optimizar.- Buscar la mejor manera de realizar una actividad.

Paradas.- Lugar o sitio donde se para el autobús.

Pasos de línea.- Cantidad de veces que una vialidad es utilizada por la trayectoria de las líneas de transporte.

Prestación.- Servicio que proporciona un motor, un instrumento, un vehículo, etc. En este trabajo se refiere al servicio de transporte de autobuses de pasajeros.

Línea.- Servicio regular de vehículos que recorren un itinerario determinado.

Líneas troncales.- Líneas de transporte que comunican puntos de la ciudad ubicados cerca de extremos opuestos entre sí.

Líneas alimentadoras.- Líneas de transporte que circulan por vialidades de una misma zona o zonas vecinas, y llegan a un punto de conexión dentro del sistema de líneas.

Ruta: Camino o dirección que se toma para un propósito.

Topografía.- Conjunto de particularidades que presenta un terreno en su configuración superficial.

Urbano.- Perteneciente o relativo a la ciudad.

Suburbano.- Perteneciente o relativo a un suburbio.

Suburbio.- Barrio o núcleo de población situado en las afueras de una ciudad o en su periferia, especialmente el que constituye una zona pobre aneja a la ciudad.