



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Lineamientos para la creación de una red vial digital de transporte en
TransCAD del libramiento nororiente de Celaya, Gto.**

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA

SISTEMAS - TRANSPORTE

PRESENTA:

L.P.T. SEBASTIAN CLAUDIO BRISEÑO

DIRECTOR:

M. I. JOSÉ ANTONIO RIVERA COLMENERO

CIUDAD UNIVERSITARIA, MEXICO D.F.



CONTENIDO

Introducción	10
1. Marco teórico	11
2. Problemática	12
3. Objetivo general	14
4. Objetivos particulares	14
5. Alcances	15
6. Metodología	15
7. Justificación	16
8. Construcción de la red vial	19
7.1 Definición de un Sistema de Información Geográfica (SIG)	19
7.2 Componentes de la red vial geográfica	22
7.3 Delimitación del área de estudio	25
7.4 Construcción de la red vial	28
7.5 Creación de arcos, nodos y conectores	31
7.6 Conectividad y topología de la red vial	32

7.7	Definición de campos en la red	36
9.	Zonificación	41
8.1	Delimitación de zonificación	41
8.2	Catálogo de zonas	44
8.3	Centroides.....	46
10.	Levantamiento de datos de oferta.....	46
	Sentido de la vía.....	47
	Número de carriles	47
	Estado del pavimento.....	48
	Tipo de pavimento.....	49
	Tipo de terreno51	
	Tiempos de recorrido	51
	Cuotas carreteras.....	66
11.	Datos de la demanda.....	66
10.1	Aforos vehiculares.....	66

10.2	Matrices origen-destino	68
12.	Análisis de la demanda	68
11.1	Caracterización de la demanda.....	68
13.	Mapas temáticos	69
14.	Modelo de asignación	70
15.	Caso de estudio	71
14.1	Introducción.....	71
14.2	Delimitación del área de estudio	78
14.3	Proyectos futuros	80
14.4	Construcción de la red vial	82
14.5	Zonificación	86
14.1	Catálogo de zonas	88
14.2	Centroides.....	88
14.3	Datos de la oferta	90
14.4	Número de carriles	90

14.5	Estado del pavimento.....	94
14.6	Tipo de pavimento.....	97
14.7	Tipo de terreno.....	99
14.8	Tiempos de recorrido	101
14.9	Análisis de la demanda	104
14.10	Trabajos de campo.....	104
14.11	Aforos vehiculares.....	106
14.1	Encuestas origen-destino.....	108
14.2	Caracterización de la demanda.....	108
14.1	Motivo de viaje	108
14.1	Nivel de ingresos.....	110
14.2	Frecuencia de viaje	112
14.3	Modelo de asignación	114
16.	Conclusión	118

17. Bibliografía	119
18. Anexos	121

INDICE DE IMAGENES

Figura 1.	Red vial en TransCAD	18
Figura 2.	Red vial en ArcGIS	18
Figura 3.	Formas básicas de representación espacial(puntos, líneas y polígonos).....	21
Figura 4.	Vista de la capa de enlaces, nodos y topología.....	24
Figura 5.	Intersección en vialidad	30
Figura 6.	Sin intersección en vialidad	30
Figura 7.	Conectado a simple vista escala 1:10,000	33
Figura 8.	Sin conectividad en un acercamiento escala 1:500	33
Figura 9.	Vista de niveles de errores de conectividad en la red	35
Figura 10.	Visualización del archivo geográfico y datos estadísticos de la red.	40

Figura 11.	Hoja de registro de datos.....	56
Figura 12.	Visualización de datos obtenidos con GPS.	59
Figura 13.	Vista de datos asociados con cada uno de los registros de archivos GPS.	61
Figura 14.	Ejemplo de hoja de velocidades.	63
Figura 15.	Error en datos por topología	65
Figura 16.	Eje carretero longitudinal	73
Figura 17.	Eje carretero transversal.....	74
Figura 18.	Corredor turístico	76
Figura 19.	Área de influencia del proyecto	79
Figura 20.	Proyectos dentro del área de influencia.....	81
Figura 21.	Red vial de influencia.....	83
Figura 22.	Trazo y longitud del proyecto.....	85
Figura 23.	Zonificación del proyecto libramiento Nororiente de Celaya.....	87
Figura 24.	Zonificación y centroides.	89

Figura 25.	Mapa de número de carriles regional.	91
Figura 26.	Mapa de número de carriles urbano	93
Figura 27.	Mapa de tipo de pavimento regional.....	95
Figura 28.	Mapa de tipo de pavimento urbano.	96
Figura 29.	Mapa de tipo de pavimento.	98
Figura 30.	Mapa de tipo de terreno.....	100
Figura 31.	Mapa de tiempos de recorrido regionales.....	102
Figura 32.	Mapa de tiempos de recorrido urbanos	103
Figura 33.	Ubicación de trabajos de campo	105
Figura 34.	Aforo manual	107
Figura 35.	Motivo de viaje.....	109
Figura 36.	Nivel de ingresos	111
Figura 37.	Frecuencia de viaje.....	113
Figura 38.	Matriz de viajes.....	115

Figura 39.	Asignación de tráfico	116
Figura 40.	Campos del modelo de asignación.....	116
Figura 41.	Flujos resultado del modelos de asignación	117
Anexo 1	Proceso de creación de líneas de deseo.....	121
Anexo 2	principales treinta pares de viajes de la estación 1 en vehículo automóvil	129

Introducción

El acelerado crecimiento urbano, que caracteriza a las ciudades modernas va acompañado de una gran diversidad de elementos, empezando con el aumento de la población y la diversificación de actividades. De esta forma se incrementa cada vez más la necesidad de desarrollar condiciones de infraestructura suficientes para satisfacer a la población. Uno de los elementos que es significativo para el funcionamiento de las ciudades, es el que se refiere a la movilidad urbana.

La movilidad urbana, se origina a partir de la necesidad de traslado (ya sean de personas, mercancías o información) y estos flujos o intercambios continuos que se desarrollan dentro y fuera de la ciudad, se convierten en el elemento articulador de la estructura urbana, es por ello, que una correcta planeación en los sistemas de transporte, significa una mayor eficiencia en el funcionamiento de la ciudad en general.

Es así, que en la actualidad el grado de movilidad está relacionado con la infraestructura disponible, la utilización los sistemas de transporte, el índice de motorización, la tasa de ocupación vehicular, alternativas de transporte viables, etc.

El lograr interpretar el transporte como un sistema, resulta relevante, debido a que bajo este enfoque, se aprecian de manera efectiva los diferentes elementos que lo conforman, así como, la interacción que guardan entre sí y con su entorno.

Bajo este esquema, este trabajo presenta un análisis de la problemática que existe en la información que forma parte de los estudios de demanda enfocados al transporte.

1. Marco teórico

El transporte es sin duda un articulador del territorio debido a la relación que este presenta con las diferentes actividades económicas de la población, además de la infraestructura que va de la mano de los modos de transporte utilizados. Los flujos que se presentan a través de la infraestructura del transporte se muestran de forma dinámica tanto en el tiempo como en espacio, en este sentido, uno de los problemas que se presentan en el uso de la infraestructura de transporte es el de la evaluación del impacto que estos flujos tienen y pueden desarrollar sobre la infraestructura del transporte, así como sus consecuencias, técnicas o económicas.

Bajo esta perspectiva, dentro de las herramientas utilizadas en el análisis de la evaluación del impacto del transporte son los modelos de transporte, de los componentes de este se desprende la red vial, la cual se puede ser estudiada mediante la teoría de grafos.

En general existen dos tipos de grafos, el grafo dirigido y el grafo sin dirección, el primero se define como: “Un grafo dirigido $G = (N, A)$ consiste en un conjunto de N nodos y un conjunto A de arcos cuyos elementos son pares ordenados de nodos distintos”, y el grafo sin dirección se define como; “Definimos un grafo no dirigido en la misma manera que se define un grafo dirigido, excepto que los arcos son pares no ordenados de nodos distintos”¹

¹ Ahuja, R., Magnanti, T. & Orlin, J. (1993) “Network Flows”. Ed. Prentice Hall

Dentro de la estructura del grafo en la que se relacionan nodos (vértices) y enlaces (líneas), es posible asociar valores de tipo numérico como pueden ser capacidades, costos, tiempos o velocidades, de igual forma es posible asociar valores de tipo cualitativo como los son el tipo de terreno.

2. Problemática

“En México, los proyectos de infraestructura carretera considerados dentro del nuevo esquema de concesiones de autopistas de cuota no cuentan en la actualidad con el sustento teórico y técnico necesario para generar la certidumbre exigida por las entidades (crediticias, calificadoras y gubernamentales) relacionadas, de manera directa o indirecta, con el financiamiento de su implementación”, SCT.

Uno de los principales problemas asociados al transporte es el de la congestión vehicular, que involucra la disminución de la movilidad, tanto regional como urbana, ésta se ve afectada debido a varios factores², dentro de ellos cabe mencionar el incremento de la demanda de usuarios que cada vez en mayor grado superan a la oferta de infraestructura, el rápido crecimiento de la tasa vehicular, falta de políticas adecuadas, inadecuada planeación territorial, etc.

Ante los problemas asociados con el al transporte, surgen diferentes alternativas para mitigarlos, generalmente en los estudios enfocados a la solución de los problemas del transporte se contempla un estudio de demanda actual, además de su demanda futura, estos estudios generalmente también contemplan un modelo de transporte que sirve de base para

² CAL Y MAYOR, RAFAEL (2007) Ingeniería de Tránsito, Alfaomega.

conocer la cantidad de tráfico que circula en la actualidad y la que se captará en el futuro, así como los costos involucrados. La principal característica de estos modelos de estimación de la demanda radica en que asocian la variación de la demanda con el paso del tiempo, es decir, se realiza un pronóstico de crecimiento para determinar si los factores que afectan la demanda de transporte se van a mantener en el futuro.

Los modelos que se utilizan para la estimación de la demanda se construyen a partir de una red vial digital, la problemática radica en la construcción de esta red, el levantamiento de la información y el cargar estos datos a la red, el que no se realice alguna de estas etapas de manera eficiente se verá reflejado en los resultados arrojados por el modelo, ya que al evaluarse los resultados se detectan estos errores y se pierde un valioso tiempo que podría aprovecharse en otras actividades. Es importante destacar que las empresas dedicadas a realizar este tipo de estudios generalmente subcontratan a otras empresas para que lleven a cabo muchas de las actividades relacionadas con la recopilación de datos, entonces, los errores que se tienen que corregir, representan una pérdida de tiempo aún mayor, en el caso de que se pudieran resolver dichos problemas.

Otro punto importante a destacar es, no corroborar la congruencia de los datos que se han suministrado a una red vial digital, es decir, qué tanto los datos tabulares o topológicos son correctos. Para esto es necesario contar con elementos de representación gráfica que permitan ubicar y en su caso corregir esos errores.

Entonces, la falta de lineamientos que indiquen, en primer lugar los elementos necesarios para llevar a cabo las actividades del levantamiento de la información, en segundo lugar el adecuado procesamiento de los datos recabados, y

en tercer lugar la verificación de la información, logran que se pierda la confiabilidad en los resultados obtenidos de un modelo de demanda, y que no se aproveche el tiempo del personal dedicado a estas actividades.

3. Objetivo general

- Proponer lineamientos que integren los datos que serán suministrados a una red vial digital de transporte, para desarrollar un modelo de asignación de tráfico.

4. Objetivos particulares

- Detectar los errores que se cometen comúnmente en el levantamiento de información en campo (encuestas origen-destino, tiempos de recorrido, aforos vehiculares, caracterización de la oferta).
- Identificar los problemas que se tienen al momento de crear una red vial digital con TransCAD.
- Detectar los principales problemas que se cometen al procesar la información de campo.
- Ilustrar en forma gráfica los errores frecuentes en el proceso de incorporar los atributos en una red vial digital.

5. Alcances

El presente trabajo, propone una alternativa para lograr que el personal dedicado a recabar y procesar la información en un estudio de demanda tenga una herramienta para lograr desarrollar su trabajo, es por esto que los resultados obtenidos serán los propios de un estudio descriptivo, es decir se identificarán y describirán los diferentes actores, los procesos involucrados. De esta manera el alcance principal de este estudio es lograr organizar los pasos requeridos para integrar una red vial de modelación al proponer una metodología para su adecuada aplicación.

Este estudio contempla la construcción una red vial que sirva de base para realizar un modelo de asignación en un estudio de demanda, se realiza el modelo de asignación de tráfico para los puntos donde se efectuaron aforos vehiculares, dentro del proyecto: “Libramiento Nororiente de Celaya”, el modelo solo se realizará para lograr una comprobación de que la red vial.

6. Metodología

La metodología está organizada de la siguiente manera:

Paso 1. Definición de los conceptos utilizados en la recopilación de datos y su procesamiento, esto es, con los datos obtenidos resultado del trabajo de campo y de los datos obtenidos en gabinete, se identificarán los principales errores en esta etapa.

Paso 2. Construcción de la red vial en formato geográfico (.DBD) en el sistema de información geográfica TransCAD, se detectan los principales errores y se propone su solución.

Paso 3. Se analiza la manera de suministrar los datos a la red vial, se detectan los principales errores cometidos al realizar esta acción y se proponen soluciones.

Paso 4. Se proponen formas gráficas para representar los datos obtenidos

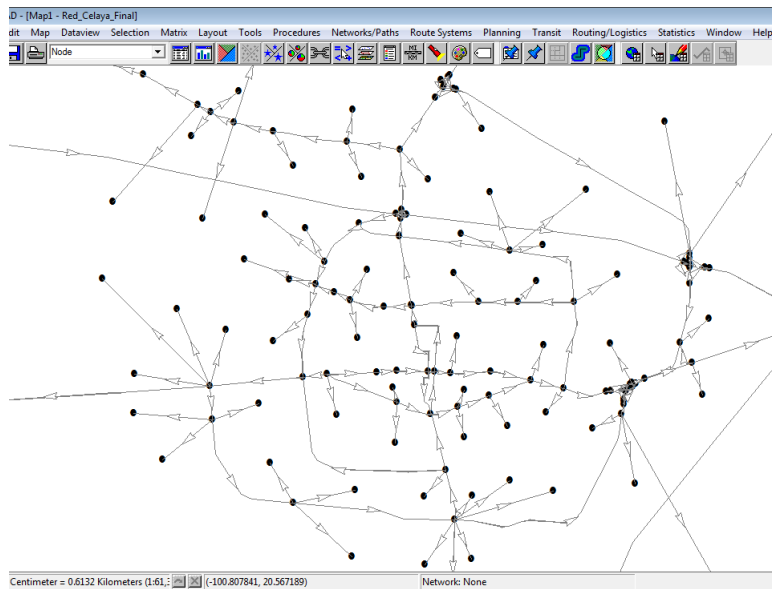
7. Justificación

En la actualidad para la realización de un estudio de demanda en México es fundamental la construcción de un modelo de transporte, este modelo sirve para analizar el comportamiento de los flujos vehiculares actualmente, así como su comportamiento a través del tiempo, el análisis se basa en una red vial elaborada en un Sistema de Información Geográfica. Los resultados que se obtienen del modelo de transporte dependen directamente de la información que se suministre a la red, esta información se toma de diversas fuentes, como lo son, datos estadísticos, bibliográficos o directamente tomados en campo, es ésta última fuente en donde recaen errores que se ven reflejados en el resultados que arroja el modelo, tener un con un sustento técnico para realizar el levantamiento de los datos, así como el

procesamiento de los mismos ayudan a economizar el tiempo y el esfuerzo de los recursos que se destinan para este concepto.

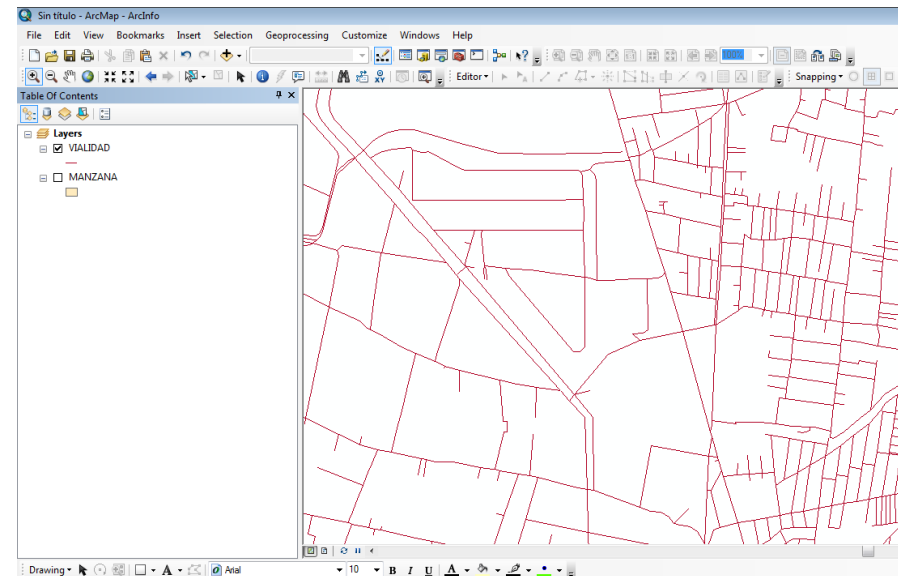
Un Sistema de Información Geográfica es una herramienta que integra una base de datos y una base geográfica, en la actualidad es una herramienta indispensable para el proceso de modelación de la demanda en el transporte, existen diferentes programas para el análisis espacial dentro de los más importantes se encuentran los siguientes, Arc GIS, Map Info, Arc View, TransCAD, etc., el principal motivo por el cual se plantea utilizar TransCAD para esta metodología es que es un programa enfocado directamente a analizar datos relacionados con el transporte, además su formato de archivo (.dbd), integra un archivo con dos tipos de capas, uno para los datos asociados a líneas o arcos y otro para los puntos o nodos, otro aspecto importante es que este tipo de archivo es utilizado en otros programas de modelación de demanda, en la **Figura 1** se puede apreciar la diferencia que existe entre el software TransCAD, y Arc GIS en la **Figura 2**. Dentro de los motivos que hacen que este programa sea la mejor alternativa, es que, se pueden realizar análisis de flujos a través de matrices, líneas de deseo, análisis de rutas de transporte, conectores de centroide zonal, etc. La visualización de los datos es muy importante para poder corregir los errores que se tengan de manera inmediata, TransCAD tiene bien definida esa actividad, ya que se pueden visualizar dos campos a la vez, por ejemplo; tiempos de recorrido por sentido, estado o tipo de pavimento, etc.

Figura 1. Red vial en TransCAD



Fuente: TransCAD

Figura 2. Red vial en ArcGIS



Fuente: ArcGIS

Las **Figura 1** muestra la composición del archivo geográfico que se construye en TransCAD, en ella se logran observar los nodos y los enlaces que se crean para la red vial, además, se muestra la dirección topológica de la red. La **Figura 2** muestra un ejemplo del archivo que se crea al usar otro sistema de información geográfica, en este caso Arc GIS, en él se crea un archivo que contiene enlaces, de ningún modo se obtendrá un archivo con las características del archivo resultante que se obtiene en TransCAD.

8. Construcción de la red vial

El modelo del transporte que se utiliza en este estudio, toma como base una representación de la realidad física de las vías terrestres identificado como modelo de transporte³, esta representación se hace a través de una red vial digital elaborada con un Sistema de Información Geográfica (SIG), usualmente la red creada en SIG se migra a otro programa (por ejemplo VISSUM o EMME) para realizar el proceso de modelación,

La red vial necesaria para realizar un modelo de asignación, es la representación de la infraestructura vial que permite la conexión entre los puntos de origen y destino de la zona de estudio, es necesario conocer las características de los sistemas de información geográfica para poder realizar los procesos necesarios, así como para el mejor aprovechamiento de la herramienta, a continuación se definen y presentan las características de los sistemas de información geográficas, también se describe el proceso de construcción de la red vial para el modelo de asignación.

7.1 Definición de un Sistema de Información Geográfica (SIG)

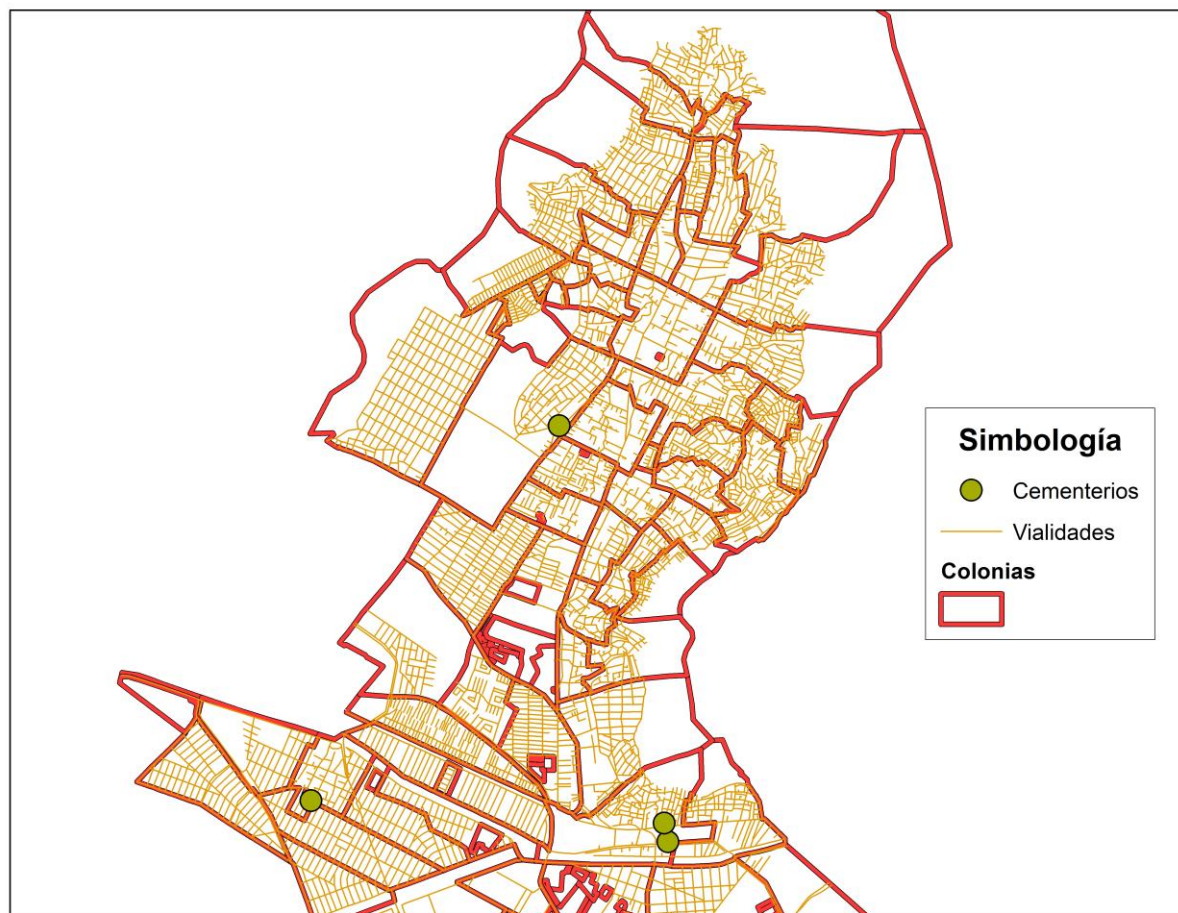
Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es un conjunto de “hardware”, “software”, internet, datos geográficos, procesos y personal capacitado, que captura, almacena, consulta, analiza, extrae y representa todo tipo de

³ HAIDER, MURTAZA (2009), Traffic Assignment Models

información que pueda tener o no una referencia geográfica. La forma en la que se almacenan los datos de un SIG es mediante archivos vectoriales, existen tres formas básicas de representación⁴ y se pueden apreciar en la **Figura 3**, el arco o enlace, el punto o nodo y el polígono (puntos, líneas y polígonos), a su vez cada uno de las capas generadas está formada por elementos espaciales y tabulares, los elementos tabulares se encuentran contenidos en una base de datos que reúne los datos asociados al archivo geográfico espacial.

⁴ Manual de usuario de "ArcView 3.2 GIS", Enviromental Systems Research Institute, Inc, (1996)

Figura 3. Formas básicas de representación espacial(puntos, líneas y polígonos)



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI

Cabe aclarar que existen programas enfocados a la digitalización o dibujo de objetos o figuras, los cuales pueden ser referenciadas espacialmente, ejemplos de estos programas es AutoCAD, el cual al ser solo un programa de digitalización no cuenta con herramientas de tipo tabular o de análisis espacial, para lograr la correcta diferenciación de los SIG con otros programas se mencionan a continuación sus principales características:

- Tiene la capacidad de almacenar y manejar gran cantidad de datos, cada uno de ellos con su referencia espacial.
- Es eficiente y preciso al realizar los procesos y consultas.
- Consultar y analizar información a través de su representación espacial y sus atributos asociados.
- Analizar el comportamiento espacial de los datos para predecir situaciones y problemas del mundo real.

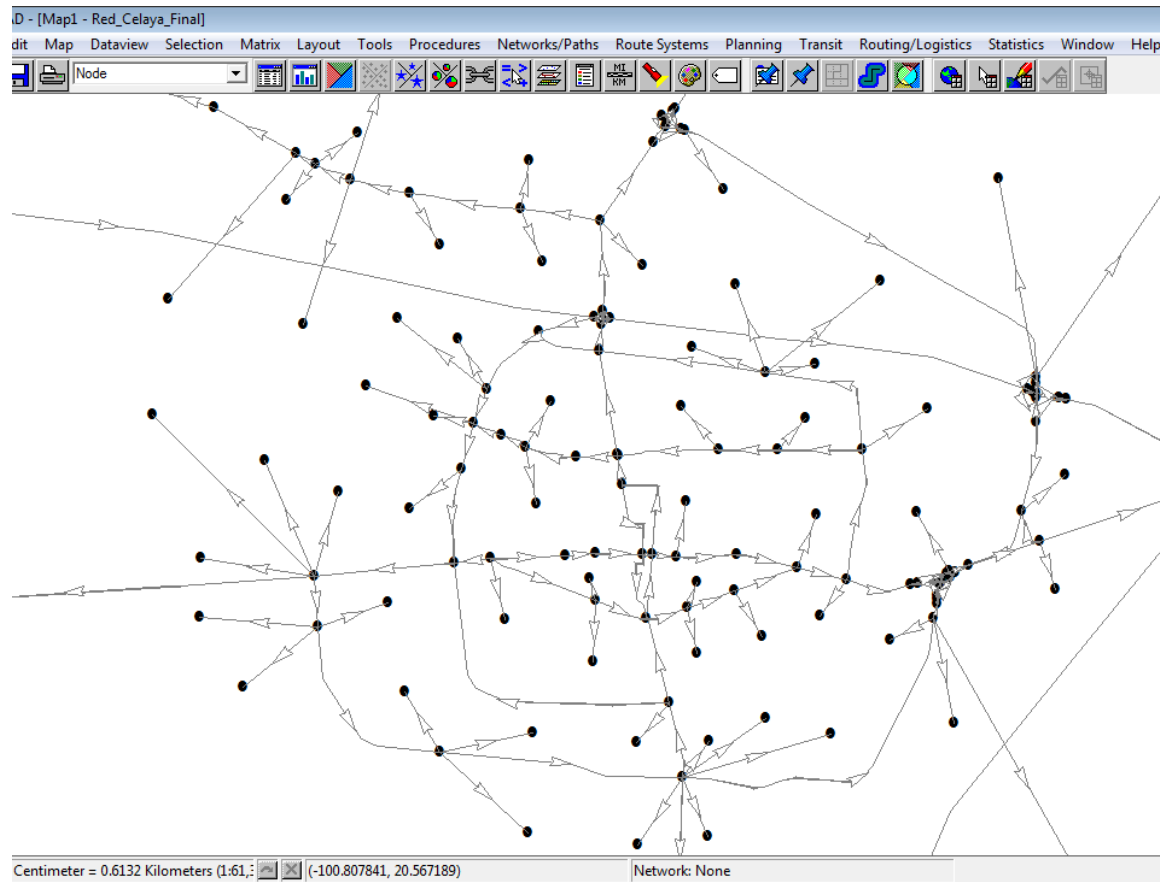
La importancia de la utilización de un SIG se basa en que esta herramienta debe ser conceptualizada como un elemento de análisis, y no simplemente como un generador de mapas o cartografía, de esta manera la utilización de los SIG significan un avance significativo dentro del análisis e interpretación de datos geoespaciales.

7.2 Componentes de la red vial geográfica

La red vial geográfica es una representación vectorial de la realidad, es decir, se representan los componentes viales de la zona de estudio. Para lograr esta representación la red vial geográfica se construye en el sistema de información geográfica *TransCAD*, la capa está compuesta por un archivo geográfico con forma de enlace o arco,

de esta manera el archivo consta de dos capas que forman parte del mismo archivo, uno que está integrado por los enlaces y otro que está definido por los nodos, estos últimos representan el inicio y fin de cada uno de los enlaces que constituyen la red vial, la utilidad de los nodos radica en que son la representación de cruces viales, terminación e inicio de conectores, restricción de acciones dentro de la red, etc. Un elemento que se crea de manera automática al momento de construir la red vial es la topología, es decir el sentido con el cual se trazó el enlace, en la **Figura 4** se aprecian de manera clara los elementos que constituyen la red vial, cada enlace es independiente a partir de la colocación de cada nodo, de esta forma los puntos rojos son los nodos, las líneas que van de nodo a nodo representan los enlaces, y las flechas que se encuentran en el centro de cada enlace, representa la topología de cada uno de ellos.

Figura 4. Vista de la capa de enlaces, nodos y topología



Fuente: Elaboración propia con datos de red vial Celaya

Al comenzar la construcción de la red vial es necesario definir el nivel de complejidad de la misma. El grado de agregación o desagregación de la red vial está en función del tamaño del proyecto o de las necesidades del mismo, pero lo ideal es no crear una red demasiado desagregada ya que si se cuenta con mucho detalle este puede causar problemas al momento de realizar la calibración del modelo, tampoco debe ser demasiado agregada ya que no representaría de manera correcta la realidad, entonces, dependiendo de las necesidades del proyecto el modelador definirá el nivel de detalle al construir la red vial. Entonces, una forma de obtener un parámetro del grado de desagregación de la red es el conocer si el estudio se encuentra dentro de un ámbito urbano o si el proyecto es de carácter regional, para este último aunque los enlaces tendrán una mayor longitud, contará con un menor número de nodos, por el contrario el urbano tendrá enlaces con una longitud menor pero estará integrado por una mayor cantidad de nodos debido a los tipos de vías involucrados (en algunos casos estos llegan a un nivel de vialidad local).

7.3 Delimitación del área de estudio

La delimitación del área de estudio es el primer paso que se debe definir, ya que de eso dependerá el nivel de agregación que tendrá nuestra red vial, se acotarán los límites espaciales y se definirán los datos a recabar.

La delimitación del área de estudio se define como el área de influencia que la red vial del proyecto tiene dentro del territorio, para definirla hay que partir de la idea de que se encuentran presentes diferentes factores, estos pueden ser tanto políticos (límites estatales, municipales o nacionales) como físicos, estos últimos están definidos por la

infraestructura misma (nuevos proyectos carreteros, infraestructura existente, puentes, etc.), así como por el medio natural (ríos, mares, barrancas, montañas, etc.). Por otro lado, la información que se tenga disponible es un factor importante para la delimitación del área de estudio.

Es importante considerar el tipo de estudio que se va a realizar ya sea urbano o regional, o si será vehicular o de transporte público, una vez definido el tipo de proyecto que se va a realizar, ya se tendrá la primera idea de la delimitación del área de estudio.

Para la delimitación del área de estudio es necesario conocer la ubicación del proyecto para el cual se realizará el estudio, ya que esto permitirá fijar los límites que definirán la longitud de la red vial y por lo tanto la delimitación del área de estudio, punto importante es conocer elementos que no se pueden apreciar a primera vista con facilidad, como lo es el comportamiento de la economía de la región, es decir, debemos conocer cuáles son las principales puntos atractores-productores de viajes en la región, para lograr esta actividad se deben realizar visitas previas a la zona, recabar los tiempos de recorrido generales de las principales vías que se encuentran cercanas al proyecto, de ser posible considerar los datos que aporten los habitantes de la región, entablar comunicación con los encargados del sector económico de la región ya sean estos municipales o estatales, este aspecto es de gran relevancia para la delimitación de la red vial debido a que existen movimientos económicos que no son fáciles de apreciar o son de tipo estacional, el no realizar esta actividad se corre el riesgo de modificar el trazo de la red en un momento avanzado del proyecto.

La delimitación del área de influencia se define con base en los flujos vehiculares que se tienen entre las diferentes ciudades y que se encuentran directamente relacionados con el proyecto.

Dentro de la delimitación de la red vial es necesario analizar los datos estadísticos de la economía de la región que podemos obtener de diferentes fuentes, los datos obtenidos no deben de ser tomados únicamente como una referencia ni para mostrar graficas o tablas que no logran mostrar el comportamiento de la economía de la región. Lo adecuado es representar los datos en forma geográfica, dependiendo de los datos obtenidos pueden ser a nivel estatal, municipal o AGEB's ya que de esta manera se aprecian de manera clara los movimientos económicos, los puntos de atracción o producción de viajes, etc.

Otro punto a tomarse en cuenta al definir el área de estudio, es conocer de manera exacta cuáles serán los proyectos que se llevarán a cabo en la zona de influencia del proyecto y que afectarán el comportamiento del flujo vehicular en la zona, y por consecuencia afectarán los flujos vehiculares de nuestro proyecto de análisis a futuro, se deben identificar tanto los proyectos viales de nuevas infraestructuras o los que podrían modificar el comportamiento económico en la región como lo pueden ser la modernización de vialidades importantes, la construcción de un nuevo puerto marítimo en la región, una nueva fábrica de automóviles, etc.

Una vez definidos es necesario que los proyectos viales se encuentren ubicados de manera espacial, de ser posible, contar con el trazo exacto de la vía, su longitud total, intersecciones importantes, fecha de terminación del proyecto, la fecha en la cual se tiene esperado que comience la operación de estos proyectos, se debe contar con todo tipo de consideraciones técnicas como lo son: las dimensiones proyecto, la capacidad vehicular, esto es

relevante debido a que estos proyectos futuros formarán parte de nuestra red vial, y será necesaria la asignación de todas estas variables como cualquier otra vía que funciona en la actualidad.

7.4 Construcción de la red vial

La red vial geográfica es la representación de la oferta vial de transporte en la región, es decir es la mejor aproximación de la representación de la realidad en cuanto a la infraestructura vial en la zona, para construirla existen diferentes herramientas dependiendo del nivel de exactitud que se quiera tener.

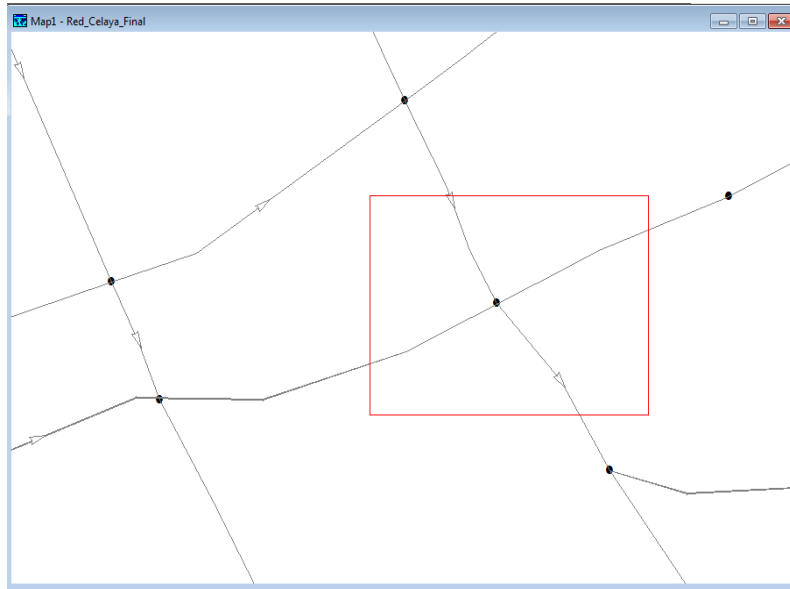
La mejor manera de construirla, si no se cuenta con ninguna referencia, es realizar un levantamiento de la información a través de dispositivos móviles satelitales, como lo es el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), el inconveniente de realizarlo de esta forma es que se consumen muchos recursos y tiempo, este último siempre es muy restringido en este tipo de estudios, otra manera de construir nuestra red si no se cuenta con otra referencia, es realizarlo en otros programas de análisis espacial, como puede ser a través de “Google Earth”, la ventaja de realizarlo de esta manera es el bajo nivel de recursos económicos que se invierten en el proceso, otra ventaja es el formato KML o KMZ que maneja el programa, ya que dentro de los sistemas de información geográfica es posible transformarlos al formato que se requiera, dentro de las ventajas que ofrece, es que cuenta con una definición geográfica, ya que la proyección espacial se puede definir antes de exportar los archivos, por otro lado, dentro de las desventajas que ofrece el programa en su versión libre, es que las imágenes no se encuentran actualizadas, es decir, hay diferencia de ciertas imágenes con respecto a lo existente en la actualidad, debido a esto es posible que no se logren contemplar algunas vías que ya existen actualmente.

Es posible que no se tenga que partir desde cero en la construcción de la red vial, esto es porque se cuenta con algunas referencias, estas se obtienen a través de la compra de la red vial en alguna dependencia gubernamental como es el INEGI, dependiendo del tamaño de la red que necesitemos será el costo de ésta, otra forma de obtener una referencia, es tomar la red vial de otro proyecto que se haya realizado cerca de la región o en la región misma de estudio, solo será necesario eliminar los enlaces que no necesitamos, así como, incorporar los enlaces que formarán parte de nuestra red vial.

Ya habiendo definido nuestra base para realizar la red vial, es necesario definir la proyección espacial sobre la cual se va a trabajar, de otra manera la ubicación espacial creará conflictos al momento de migrar la red a otra aplicación.

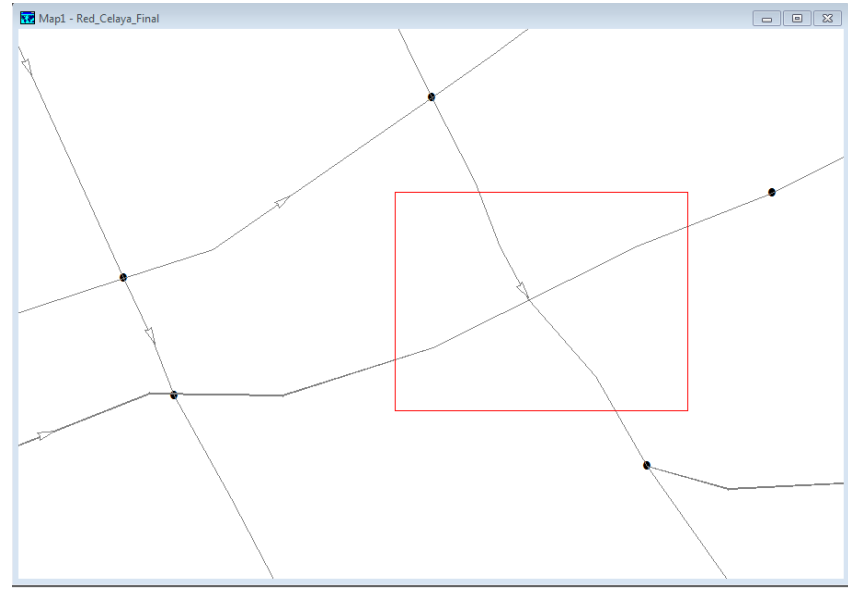
Resulta relevante conocer los lugares en la red donde se intersectan los enlaces y donde no, los nodos que hacen que se intersecte la vía en un punto como se muestra en la **Figura 5**. Esto se debe a que físicamente se cruzan dos o más vías, también puede significar que en ese lugar existe algún tipo de impedimento para el libre flujo vehicular, por el contrario, si no existe intersección en la realidad, no debe de haber un nodo que intersecte los enlaces como puede ser el caso de que en ese tramo exista un puente vehicular, el cual permite el libre flujo de los vehículos en ese lugar, como se muestra en la **Figura 6**.

Figura 5. Intersección en vialidad



Fuente: Elaboración propia

Figura 6. Sin intersección en vialidad



Fuente: Elaboración propia

Las dos figuras anteriores son el claro ejemplo de los casos en los cuales se debe tener un nodo en la red, aunque existen otros casos en los cuales se tendrá que definir, para cada caso, un criterio específico.

7.5 Creación de arcos, nodos y conectores

La creación de los arcos y los nodos debe definirse a partir del nivel de detalle que tendrá nuestra red vial, ya que se deberán utilizar diferentes niveles dependiendo de la relevancia de la parte de la red vial en cuestión, es decir, es posible que en algún cruce importante se defina que es necesario realizar un nivel de detalle mayor que permita realizar un mejor análisis de la zona, o tal vez bastará con construir un trazo muy esquemático, la decisión depende en este caso del modelador para definir el grado de detalle en general y particular en otros casos.

Para definir el concepto de conector es necesario mencionar en primera instancia los centroides, estos son el centro espacial de los polígonos que conforman la zonificación (se extenderá en este punto más adelante), entonces, el conector es el arco o enlace que comunica a la red vial con todos y cada uno de los centroides, los conectores también son los enlaces o arcos a través de los cuales se asignarán los viajes que se producen o atraen de o hacia una zona hacia la red vial, es por esto que los conectores deben de contar con un identificador particular, ya que no forman parte de la infraestructura vial, de igual forma se le asigna a los conectores características específicas como lo pueden ser la velocidad y la capacidad de flujo vial.

La creación de los conectores es una labor que requiere de una minuciosa atención y detalle. Existe una herramienta en el programa TransCAD, que realiza la acción de generar los enlaces que sirven como conectores, esto es, en “*Tools-Map Editing-Connect*”, en esta parte se define la manera en la cual el programa realiza esta acción, este procedimiento ahorra tiempo en el trazado de los enlaces, pero se debe verificar si los conectores

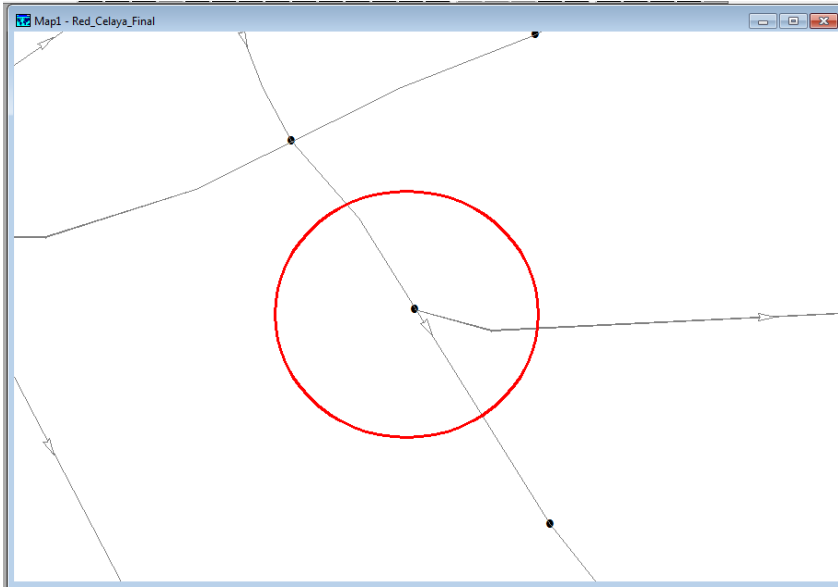
creados son suficientes, o si es necesario colocar más en determinada zona, de ninguna manera se dejarán de colocar o quitar conectores manualmente.

7.6 Conectividad y topología de la red vial

La conectividad⁵ en una red vial geográfica significa la unión que existe entre los diferentes arcos o enlaces que conforman la red vial, es decir, los lugares en los cuales existen intersecciones viales que dará un sentido de continuidad a la red vial, en los casos en donde exista conectividad es necesario que esos enlaces que se intersectan compartan ese nodo entre sí, en la **Figura 7** se aprecia que existe conectividad en el nodo que se encuentra dentro del círculo rojo, la imagen se encuentra a una escala de 1:10,000, es necesario realizar un acercamiento a una escala menor para detectar el error, ya que no existe conectividad en esta parte de la red, el error se ilustra en la **Figura 8**, ya esta imagen se encuentra en una escala de 1:500, para corregir este error es necesario crear un nodo en el enlace con el cual se va a unir el nodo, la forma de lograrlo es dividir el enlace en dos partes, logrando tener en ese lugar una intersección.

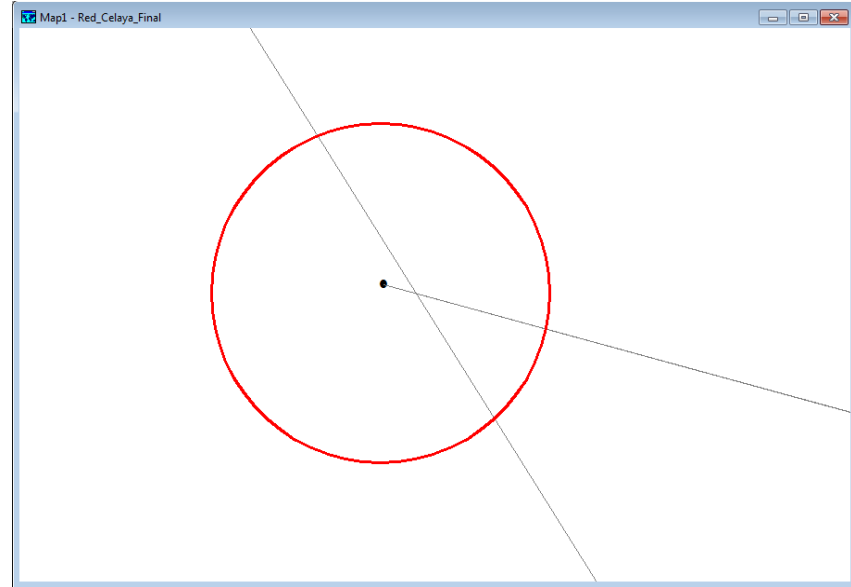
⁵ Caliper Corporation (1998). Transcad-Transportation GIS Software. Travel Demand Modeling whit Transcad 3.1. Caliper Corporation, Newton.

Figura 7. Conectado a simple vista escala 1:10,000



Fuente: Elaboración propia

Figura 8. Sin conectividad en un acercamiento escala 1:500

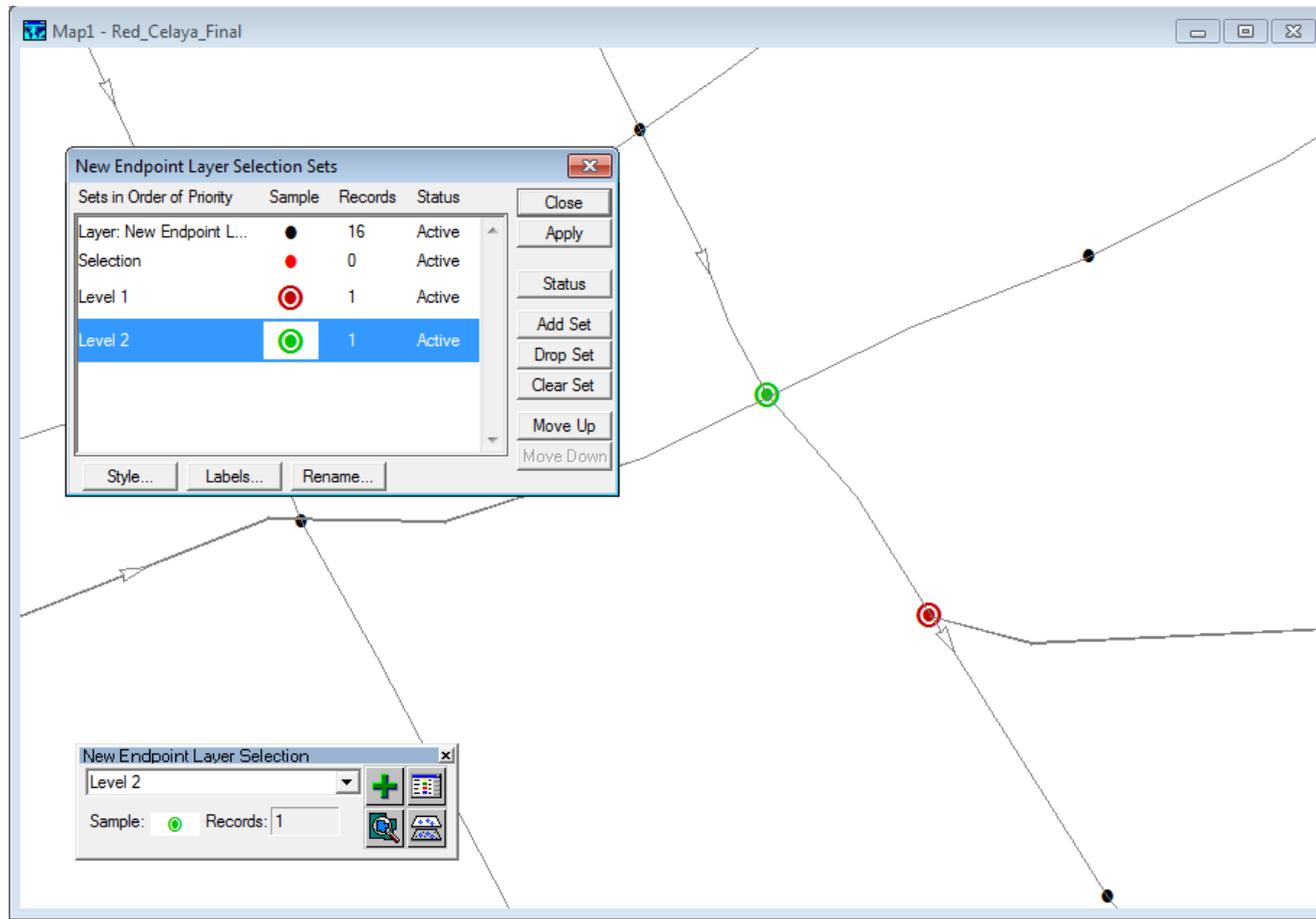


Fuente: Elaboración propia

La corrección de la conectividad resulta importante debido a que los flujos que se asignarán al modelo dependen de esta unión de nodos y enlaces, ya que si existe o no, los flujos se desplazarán de manera errónea. La forma de verificar el estado de la conectividad es mediante la herramienta “*Tool-Map - Editing-Check - Line Layer Connectivity*”, se muestran los lugares y el grado de conectividad en la red, en la **Figura 9** se aprecia el resultado del proceso de conectividad, se observan los diferentes niveles con referencia a los errores de conectividad, el nodo que se aprecia en color verde indica un error de conectividad de grado 2 y hace referencia al caso

ejemplificado en la **Figura 5**, en el cual se define la existencia de un puente vehicular en ese lugar, entonces no se tiene que modificar este nodo, por otro lado, se muestra el nodo en color rojo, en este caso como se muestra en la **Figura 8**, existe una intersección en esas dos vialidades, por lo tanto, es necesario unir los enlaces por medio de ese nodo, de esta manera se visualizarán todos los errores que se presenten en la red vial, a continuación se corrigen éstos, dependiendo de las especificaciones que se hayan definido en un principio, y se hace un reconocimiento de la red vial real.

Figura 9. Vista de niveles de errores de conectividad en la red



Fuente: Elaboración propia.

Un atributo importante a tomar en cuenta que está presente en la red, es la topología, la cual se define a partir de la dirección en la cual se trazó el enlace, es decir, la dirección del mismo, el no tener bien orientada la topología de la red ocasiona problemas, debido a que la información que se cargue en ambos sentidos podrá estar del lado contrario a como se realizó el levantamiento.

7.7 Definición de campos en la red

Como ya se ha mencionado todo SIG tiene asociada una base de datos, donde se establecen diversos atributos o características de los elementos geográficos, a continuación se mencionan los campos mínimos que se necesitan en una red vial:

- **ID:** Este campo se crea automáticamente para cada uno de los enlaces con los que cuente la red vial, este campo está resaltado en color verde oscuro, esto significa que se encuentra bloqueado, por lo que no es posible modificarlo, esto se debe a que el sistema debe identificar a cada uno de los elementos geográficos, es posible definir otro ID, si es que no se desea el asignado, pero es preferible crear otro campo de identificación, por ejemplo un ID2 que contendrá la nueva forma de identificar los elementos.
- **Length:** Aquí se define la longitud de cada enlace de manera automática por el programa. La ventaja del programa TransCAD es que si se corta algún enlace, se realiza un nuevo cálculo de la longitud de forma automática, para cada uno de los nuevos enlaces.

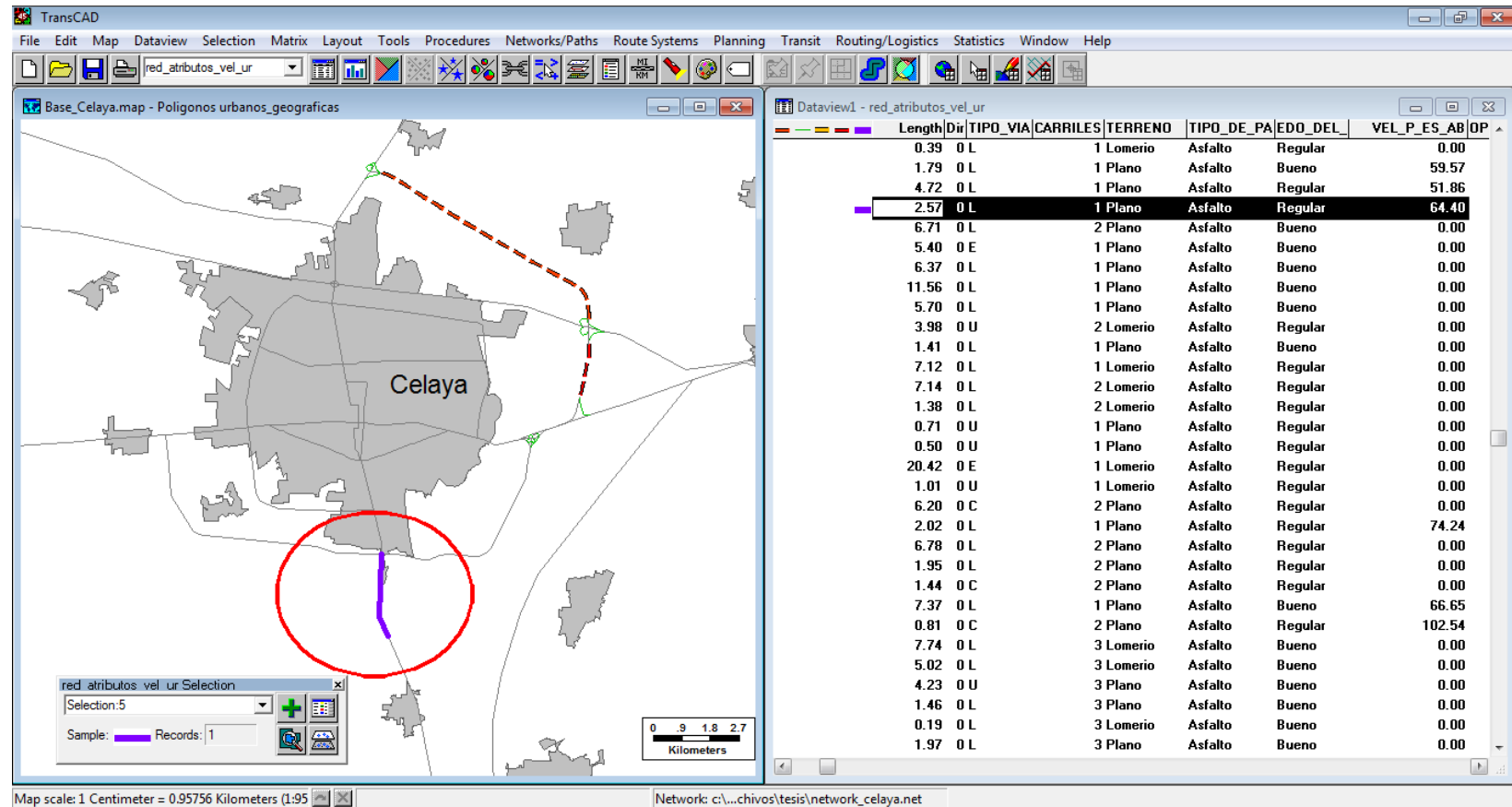
- **Length2:** Es necesario crear una longitud alterna que tenga la distancia correcta, o lo más cercano a la realidad, la importancia de este campo radica en que para ciertos puntos de la red es necesario contar con datos reales, esto debido a que la red tiene defectos que se corregirán con estos datos, también se aplicará una longitud a los conectores.
- **Dir:** Este campo contiene el o los sentidos de circulación que tiene la vialidad, generalmente si la vialidad es de doble sentidos, y la vía se creó con un solo enlace, entonces, se asigna el número “cero”, si la vía tiene un solo sentido se asigna el número “uno”, un aspecto importante es tomar en cuenta la topología de la red, ya que si el sentido de la circulación es contrario a la topología que presenta la red vial en ese punto, es necesario colocar el número “menos uno”, este es un error muy común, debido a la manera en la cual se ha obtenido la red vial base, por eso es necesario revisar meticulosamente que la topología concuerde con los sentidos de la vía.
- **Tipo de vía:** En los estudios de carácter regional se establecen tres tipos de vías; vialidades de acceso libre, vialidades de cuota y vialidades urbanas.
- **Número de carriles:** Se muestra el número de carriles con que cuenta la vía en el tramo, se tienen dos campos si es que se cuenta con dos sentidos.
- **Tipo de terreno:** Se definen tres tipos de terreno; plano, lomerío y montañoso.

- **Estado del pavimento:** Este campo muestra el estado físico en el que se encuentra la vía, se consideran tres tipos; bueno, regular y malo.
- **Acotamiento:** En este campo se define la existencia o no del acotamiento en la vía, por lo general se utiliza en las vías regionales.
- **Tipo de pavimento:** En este campo se especifica el tipo de pavimento con el que está construida la vía, se clasifican en cuatro tipos; asfalto, concreto, adoquín y otros.
- **Velocidad:** En este campo se registran las velocidades en kilómetros por hora y por sentido de circulación, depende del modelador los periodos a registrar, lo que deriva en que se registren varios periodos por sentido, así que es necesario identificarlos correctamente, es necesario registrarlos por día (entre semana y fin de semana), y periodo(pico y valle, am y pm)
- **Cuota:** Se especifican las cuotas que se cobran en el tramo en cuestión, se registran tanto las cuotas actuales como las futuras.
- **Type:** Este campo funciona como un identificador, el modelador define ciertos parámetros a los cuales se asignan diversos valores.
- **Capacidad:** Se muestra la capacidad vehicular de la vía.

- **Tiempo:** Este campo contiene el tiempo de recorrido en minutos, que se tiene para cada enlace.

La manera en la cual se observan los campos que se han anexado a la red vial se aprecia en la **Figura 10**, se observa la tabla de atributos asociada a la red vial, en la parte izquierda se encuentra seleccionado un enlace, de lo cual se desprende que, la longitud del enlace es de 2.57 km, tiene un Dir=0, lo que nos indica que el tramo es de dos sentidos, el tipo de terreno es plano, el tipo de pavimento es asfalto y el estado de la vía en ese tramo es regular.

Figura 10. Visualización del archivo geográfico y datos estadísticos de la red.



Fuente: Elaboración propia con base en datos del proyecto libramiento nororiente de Celaya

9. Zonificación

La zonificación para un proyecto de transporte se debe entender cómo, la división geográfica del territorio en polígonos homogéneos, derivada del comportamiento de la generación o atracción de viajes.

8.1 Delimitación de zonificación

La integración de una zonificación, así como, la creación de su respectivo catálogo son definidos en función de la ubicación del proyecto, es decir, las zonas más lejanas a la zona donde se llevará a cabo el proyecto deben estar más agregadas, por el contrario, las zonas más cercanas al lugar de proyecto se encontrarán más desagregadas. El grado de desagregación que tendrá la zonificación, dependerá de los flujos que se lleven a cabo en la zona, las actividades económicas, el uso de suelo, la topografía, etc. Otro aspecto importante a resaltar, es el tamaño de las zonas, así como el número de polígonos que la conforman, de esta manera, si el tamaño de las zonas es grande su número será menor y por el contrario si el área de los polígonos es menor, el número de los polígonos tiende a ser mayor. Para su clasificación se agrupan de la siguiente manera:

- **Zonas locales.** Estos polígonos están directamente afectados por el proyecto que se realice, por lo general se construyen a partir de la división de los municipios, sobre los cuales se realizará el proyecto y se crean a partir de las AGEB's, son la clasificación de las zonas más pequeñas que se pueden encontrar.

- **Zonas regionales.** Este nivel está integrado por la unión de uno o más municipios por lo general del mismo estado, y que guardan una relación considerable y necesita un nivel de análisis menos detallado que las locales.
- **Zonas municipales.** Se encuentran contruidos a partir del límite de los municipios cercanos al proyecto, en ocasiones podrían formar parte de la zonas regionales.
- **Zonas nacionales.** Se construyen a partir de los límites estatales, constan de la agrupación de uno o más estados, el criterio para definir este nivel de zonificación se basa en su grado de afectación con respecto al proyecto, es decir, si determinado estado no se encuentra influenciado por el proyecto en cuestión o la red de influencia no llega a estar dentro de ese estado.
- **Zonificación internacional.** En algunos proyectos debido a su naturaleza es probable que los viajes lleguen a desplazarse hacia otros países o si la zonificación consta de polígonos en otros países, entonces se tendrá que contar con un nivel de carácter internacional.

El archivo geográfico que contendrá la zonificación está definido como un archivo de polígonos, éste puede ser construido de varias formas, una de ellas, es conseguir la zonificación que se utilizó en otro estudio con características similares y que se encuentre cercano a la zona de estudio, de no ser posible esto, la segunda opción es construirla a partir de otro archivo geográfico como puede ser de estados, municipios, AGEB's o

colonias, la elección depende del tipo de estudio que se esté manejando para definir cuál se tomará o si se tienen que elegir varios de ellos y hacer uniones o cortes.

El fin de tomar como base alguno de los archivos que contengan límites políticos, se debe, a que se cuenta con datos estadísticos derivados de los levantamientos censales, es decir, que cada zona deberá contar con datos que permitan definir su homogeneidad y análisis, en este sentido la principal fuente para consultar datos estadísticos es el INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), esta institución define los campos de la información en tres niveles: estatal, municipal o delegacional, y AGEB (área geoestadística básica), es en estos tres planos que podremos contar con información georreferenciada de datos socioeconómicos o demográficos para agruparlas en las zonas que se han designado.

Cuando la zonificación está llegando al nivel urbano es necesario dividir las zonas de la forma más homogénea, de ser posible, tomando en cuenta los usos de suelo o la caracterización de la población, si la apreciación es que no existe homogeneidad entre algunos grupos poblacionales, pero que pertenecen a la misma unidad definida por el INEGI, no será necesario agruparlas y se mantendrán como zonas independientes, sin importar que las zonas sean polígonos pequeños.

Por otra parte, si existe algún punto del cual se desprenda una gran cantidad de viajes, pero que su área geográfica es pequeña, será necesario crear un polígono independiente, el ejemplo claro será algún puerto ya sea fronterizo o marítimo, o si se encontrara algún tipo de ingenio cercano a nuestra zona de influencia.

Los límites de la zonificación no deben estar sobre alguna vialidad importante de la red vial geográfica, ya que esto, creará graves conflictos al momento de la asignación de viajes, debido a que en determinado momento no se sabrá hacia qué zona se asignarán los viajes, o se pueden asignar hacia una zona equivocada.

El campo que debe de tener de manera obligada la tabla de información del archivo geográfico de la zonificación es el número de zona, todos y cada uno de los polígonos deben contar con su número, no debe haber números repetidos para los diferentes polígonos, ya que esto creará conflictos al momento de la asignación de los viajes.

8.2 Catálogo de zonas

Es necesario tener un catálogo de la zonificación ya que éste servirá como base para identificar los lugares que son productores o atractores de viajes, además de ser la base para asignar de manera rápida y eficiente el número de zona dentro de la encuesta origen-destino o de preferencia declarada.

El catálogo de zonificación se crea a partir del catálogo del INEGI, el cual es el registro de todas las entidades definidas, es así que se organizarán los polígonos siguiendo la caracterización de esta dependencia, a continuación se describen los campos que contendrá el catálogo de la zonificación:

- **Zonas nacionales.** Los campos con que contará este apartado son; la clave INEGI del Estado, el nombre del Estado y por último el número de zona que se le ha asignado a cada uno de los Estados, aunque dos o más

Estados compartan el mismo número de zona es necesario mencionar todos los Estados de forma independiente.

- **Zonas regionales.** En este caso la base deberá incluir los campos de la clave INEGI del municipio, el nombre del municipio, nombre del Estado, clave INEGI del Estado y por último el número de zona que le fue asignado.
- **Zonas locales.** Aquí se definen los municipios o delegaciones que han sido divididos y que se le han asignado diferente número de zona, contará con clave INEGI del Estado, nombre del Estado, clave INEGI del municipio, nombre del municipio y finalmente el número de zona que se le asignó.
- **Catálogo de colonias y localidades.** La creación de este catálogo se realiza a partir de los municipios o delegaciones de las zonas locales, los campos con los que cuenta son el identificador, coordenadas longitud, coordenadas latitud, nombre de Estado, clave INEGI de Estado, nombre del municipio, clave INEGI del municipio, nombre de la colonia o localidad, tipo de entidad (puede ser colonia o localidad) y por último el número de zonificación que se le asignó.

La importancia de indicar las coordenadas en este campo es debido a que surgen problemas de asignación de zonas cuando se deben localizar las colonias o localidades de las zonificación local o municipal, una forma de minimizar este error es ubicando geográficamente las colonias o localidades para saber exactamente a qué zona pertenecen.

8.3 Centroides

Es necesario contar con centroides de cada una de las zonas, el centroide es el punto que representa el centro geográfico de una zona, este debe ser definido debido a que hacia ese punto serán asignados los viajes, es decir, es el punto donde provienen o hacia dónde se dirigen los viajes.

La forma de los polígonos que integran la zonificación deberían de facilitar la ubicación del centroide, entonces si el polígono tiene una forma demasiado irregular el centroide se deberá ubicar en el lugar donde se concentren las actividades o la densidad de población es mayor y no donde se asigne el centro geográfico.

Para la creación del archivo geográfico de los centroides se realiza a partir del archivo geográfico de la zonificación, teniendo activa esta capa se da click en “*Tools-Export*”, y se activa “*Export as Centrioid Points*”, y a continuación se nombra al archivo y se da la ruta de destino.

10. Levantamiento de datos de oferta

Los datos de la oferta, comprenden aquellos datos referentes a las características de las vialidades que forman parte de la red vial de influencia, así como, el desempeño que tienen los vehículos al circular por ellas, en las

vialidades que están directamente relacionadas con el proyecto, el levantamiento de los datos se hace tomando estos de forma directa, es decir, visitar la zona de estudio y realizando trabajos de campo, para tener los datos reales y actualizados de las vialidades.

Sentido de la vía

En el sentido de la vía se hace referencia a la dirección que lleva la circulación vehicular en un tramo o vía determinada, el campo que indica el sentido de la vía es por lo general aquel con el nombre “*Dir*”, al realizar el levantamiento de esta característica de la vía se debe especificar si es de dos sentidos o uno, si los sentidos cambian en determinado tramos, etc. Lo ideal es realizar recorridos por todas las vías importantes para el proyecto con el propósito de identificar correctamente el sentido de las vialidades, y aun así será importante corroborar la información, ya que en algunos lugares se puede adoptar el sistema de cambio de sentido de circulación en ciertos días en periodos del mismo día.

Número de carriles

Dependiendo del tamaño de la red de influencia, el identificar el número de carriles con que cuenta una vía resulta una labor complicada, debido a que se tienen que analizar diferentes aspectos. En primer lugar identificar el número exacto de carriles con que cuenta la vía en cuestión, en segundo lugar identificar si existe alguna

restricción para algún carril como puede ser un carril confinado para la circulación de camiones por ejemplo, en tercer lugar determinar si alguno de los carriles resulta intransitable, esto puede deberse a que se permita el estacionamiento de vehículos sobre la vía, entonces si la vía contara con tres carriles y en uno se permita el estacionar automóviles, se debe especificar esta característica, en cuarto lugar se debe identificar si el ancho de las vialidades es el reglamentario o no, esto debido a que en ocasiones al realizar los recorridos logra apreciarse que las dimensiones de la vía sobrepasan las dimensiones normales de una vía, si no se cuenta con líneas separadoras de carriles deberán estimarse tomando en cuenta que cada carril deberá medir 3.5 metros aproximadamente.

Los enlaces que forman parte de la red vial de influencia, a los que no se hayan realizado recorridos y por lo tanto no se registraron las características de la vía, es necesario asignar número de carriles, por otros medios; como pueden ser datos de la SCT en caso regional, datos de secretarías de transporte locales en caso de zonas urbanas, o también se puede auxiliar con programas de acceso a imágenes satelitales como *“Google Earth”*.

Estado del pavimento

Para definir el estado físico en el que se encuentra la vialidad al momento de la realización del estudio, es necesario, efectuar recorridos para lograr la correcta apreciación de esas condiciones, en los estudios de demanda vehicular se definen tres estados de las vialidades, estos son; bueno, regular y malo, pero usualmente no se encuentra definido el criterio con el cual se define si pertenece a un estado físico o a otro, por esta razón se

realizan las siguientes consideraciones para lograr un mejor entendimiento y por consecuencia un mejor análisis del estado de la vía.

- **Bueno.** Esta condición del pavimento muestra una superficie uniforme, se tiene un manejo confortable y seguro, no se aprecian irregularidades a simple vista en la constitución del pavimento.
- **Regular.** El estado regular de la vía, denota que se encuentran irregularidades perceptibles en la constitución de la vía, es decir, la vía cuenta con fisuras o baches que se aprecian tanto visualmente como de comodidad en el manejo, generalmente estos no resultan en la disminución de la velocidad vehicular.
- **Malo.** Es el peor estado que se puede registrar en una vía, este cuenta con fisuras mayores, baches que afectan la velocidad de manejo, se tiene una circulación poco confortable, en ocasiones es necesario realizar maniobras para esquivar las irregularidades de la vía.

Cabe aclarar que la interpretación de los conceptos anteriores son de alguna manera subjetivos y que dependen de la interpretación de cada persona en particular, se recomienda realizar ejercicios de identificación del estado de la vía con las personas encargadas de dicha actividad.

Tipo de pavimento.

El pavimento es la estructura que se ha construido para formar la capa de rodamiento vehicular, dependiendo del material con el cual se encuentra constituido el pavimento se clasifican de la siguiente manera:

- **Asfalto.** También considerado como flexible, este se compone de agregados pétreos y derivados del petróleo, con lo que se encuentran constituidas la mayoría de las vialidades, generalmente es de color negro.
- **Concreto.** Conocidas como rígidas, están construidas por agregados pétreos y cemento Portland, por medio de losas de concreto hidráulico, generalmente de color gris claro, y es posible apreciar líneas de división entre cada una de las losas de concreto, las vías construidas a base de este material es mínimo en comparación con las construidas con material flexible.
- **Adoquín.** Están contruidos por piezas de adoquín de cemento, estas pueden ser rectangulares o de lados múltiples con la condición que puedan ser entrelazados entre sí con otra cara de otro adoquín, por lo general se encuentran ubicados en centros turísticos o históricos.
- **Otro.** Existen vialidades que se encuentran construidas por otro tipo de materiales, estos pueden ser de diversos materiales, si no se encuentran dentro de las tres clasificaciones anteriores, se coloca la clasificación otro, es posible encontrar tramos sin algún tipo de pavimento (terracería), en estos casos se deben tener las observaciones respectivas.

Tipo de terreno

Para definir el tipo de terreno, se considera el relieve del terreno natural por el cual están construidas las vías vehiculares, estas se definen considerando las pendientes, así como las posibilidades de los vehículos pesados de circular por ellas.

- **Plano.** Es cualquier combinación de alineamientos vertical y horizontal, que permite a los vehículos pesados mantener la misma velocidad que los vehículos ligeros. Las pendientes están limitadas a 1 o 2%.
- **Lomerío.** Es cualquier combinación de alineamientos vertical y horizontal que hacen que los vehículos pesados reduzcan su velocidad substancialmente por debajo de los vehículos ligeros, sin llegar a la máxima velocidad que pueden alcanzar en pendientes sostenidas.
- **Montañoso.** Es cualquier combinación de alineamientos vertical y horizontal que hacen que los vehículos pesados operen a la máxima velocidad que alcanzan en pendientes sostenidas.

Se define pendiente sostenida aquélla que es igual o superior a 3% y que tiene una longitud igual o superior a 800m.

Tiempos de recorrido

Para el análisis de los modelos de demanda es necesario contar con información que indique el tiempo que se invierte en la realización de los viajes de los usuarios, en las vías que se considere que son importantes dentro del proyecto que se pretende analizar, así como, las velocidades promedio que se logran alcanzar en cada uno de los periodos del día que se analizará con el modelo.

Existen dos métodos a través de los cuales es posible recabar información de tiempos de recorrido, uno es el llamado **“Método de placas”**, el cual consiste en tomar dos puntos de referencia, medir la longitud existente entre ambos, a continuación en el primer punto se debe anotar el número de las placas de los usuarios que transitan por la vía, así como la hora en la que pasó cada usuario, en el segundo punto también se realiza la misma acción, y al terminar el día se cotejan los datos entre el punto uno y el punto dos, se utilizan herramientas tecnológicas que incluyen cámaras que registran los números de placas y la hora en forma automática, aunque este método es el correcto en cuanto al planteamiento, existen inconvenientes en su utilización, esto debido a que no se toman en cuenta las demoras que se tienen en el tramo a analizar, es decir, si en ese lugar hay algún elemento que interfiera con la velocidad de recorrido de los usuarios, como puede ser, algún accidente vehicular, acontecimientos naturales (inundaciones, deslaves, etc.), semáforos, lugares de esparcimiento, etc. Por este motivo, este método no refleja de manera evidente el comportamiento de las velocidades que los usuarios registran, se recomienda que este método se realice, solo hasta cierto nivel de análisis por los motivos mencionados.

El segundo método para determinar la velocidad de los vehículos en una vía es conocido como de **“Vehículo flotante”**, este método consiste en realizar varios recorridos a bordo de un vehículo, este deberá mantener la

velocidad que registran la mayoría de los vehículos que transitan por la vía, es decir, que este vehículo no debe rebasar a tantos vehículos, ni ser rebasado por muchos vehículos, o se fija una velocidad promedio. Se debe tener en cuenta que no se deben rebasar los límites de velocidad permitidos en las vías, por cuales se circula. Para lograr un mayor grado de efectividad en cuanto a los resultados se recomienda la utilización del GPS (Sistema de Posicionamiento Global). Este método es el recomendado para realizar tiempo de recorrido, debido a su eficacia. Aunque resulta en un mayor costo económico y de tiempo, el análisis refleja de manera clara el comportamiento de los usuarios en las vías que se analizan.

Es importante conocer los recursos necesarios para la correcta realización del levantamiento de tiempos de recorrido, por medio del método de **“Vehículo flotante”**, estos son:

- **Vehículo:** Se debe contar con un vehículo que esté en excelentes condiciones, tanto mecánicas como físicas, de modelo reciente, el odómetro y el velocímetro deben estar funcionando correctamente. Además el vehículo debe contar con alguna señalización donde se indique que se están realizando estudios de velocidad en la vía, esto evitará contratiempos con los demás usuarios de la vía, así como con las autoridades.
- **Personal:** El personal requerido para la realización del método de **“Vehículo flotante”** son como mínimo dos personas, todos deben tener conocimientos de manejo, es necesario que todos tengan los mismos conocimientos, ya que todos tendrán que ser conductores en diferentes momentos, esto debido al desgaste físico que esta actividad provoca, es necesario ser hábil en la conducción para realizar el trabajo para no provocar accidentes. Se recomienda, que el personal tenga conocimientos del estudio que se está llevando a

cabo, es decir, conocer las características del proyecto, así como la función que cumple el levantamiento de los tiempos recorrido. Es importante hacer saber al personal la importancia del levantamiento, debido a que esta actividad es por lo general físicamente desgastante y en cierto momento monótona y tediosa, por lo que en ocasiones se cometen errores al distraerse de esta actividad. Involucrar al personal que realiza esta actividad permite que se ponga especial atención en los lugares más importantes.

- **GPS:** Es posible realizar esta actividad de manera manual, pero se recomienda, para tener un mejor control y mayor grado de exactitud, contar con un GPS. Existen diferentes modelos y diferentes precios de este sistema, así que depende de las necesidades del proyecto la adquisición de estos aparatos, por lo general el costo va asociado con el grado de exactitud del aparato.
- **Cronómetro:** Se debe contar con algún mecanismo de medición del tiempo, como lo es un cronómetro o reloj de precisión, que registre horas, minutos y segundos.
- **Hoja de registro de datos:** También es necesario contar con una hoja de registro de datos, esta se aprecia en la **Figura 11**, los datos con los cuales debe contar son; nombre de la carretera, tramo de la carretera, sentido del recorrido, número de recorrido, hora de inicio, hora de terminación, la fecha y las condiciones climatológicas, así como los datos de las personas que realizaron el levantamiento, para agilizar este proceso se abrevian las causas de la demora, es necesario que éstas se expliquen en la misma hoja, se debe indicar en el recorrido si el periodo que se está levantando es horario de máxima o mínima demanda.

Figura 11. Hoja de registro de datos.

ESTUDIO DE TIEMPOS DE RECORRIDO Y DEMORAS TECNICA DEL VEHICULO FLOTANTE

Hoja _____ de _____

Carretera: _____ Recorrido No.: _____

Tramo: _____ Hora inicio: _____

Sentido: _____ Hora terminación: _____

Fecha: _____

Condición climática: _____

[illegible]

Fuente: Modelación de demanda para carretera de cuota

El proceso de levantamiento de tiempos de recorrido por medio del método de **“Vehículo flotante”** es un proceso que cuenta con varias etapas, la primera es la planeación, la segunda es el levantamiento en campo, el tercero es el análisis de los datos, y el cuarto es la colocación de los datos en la red vial.

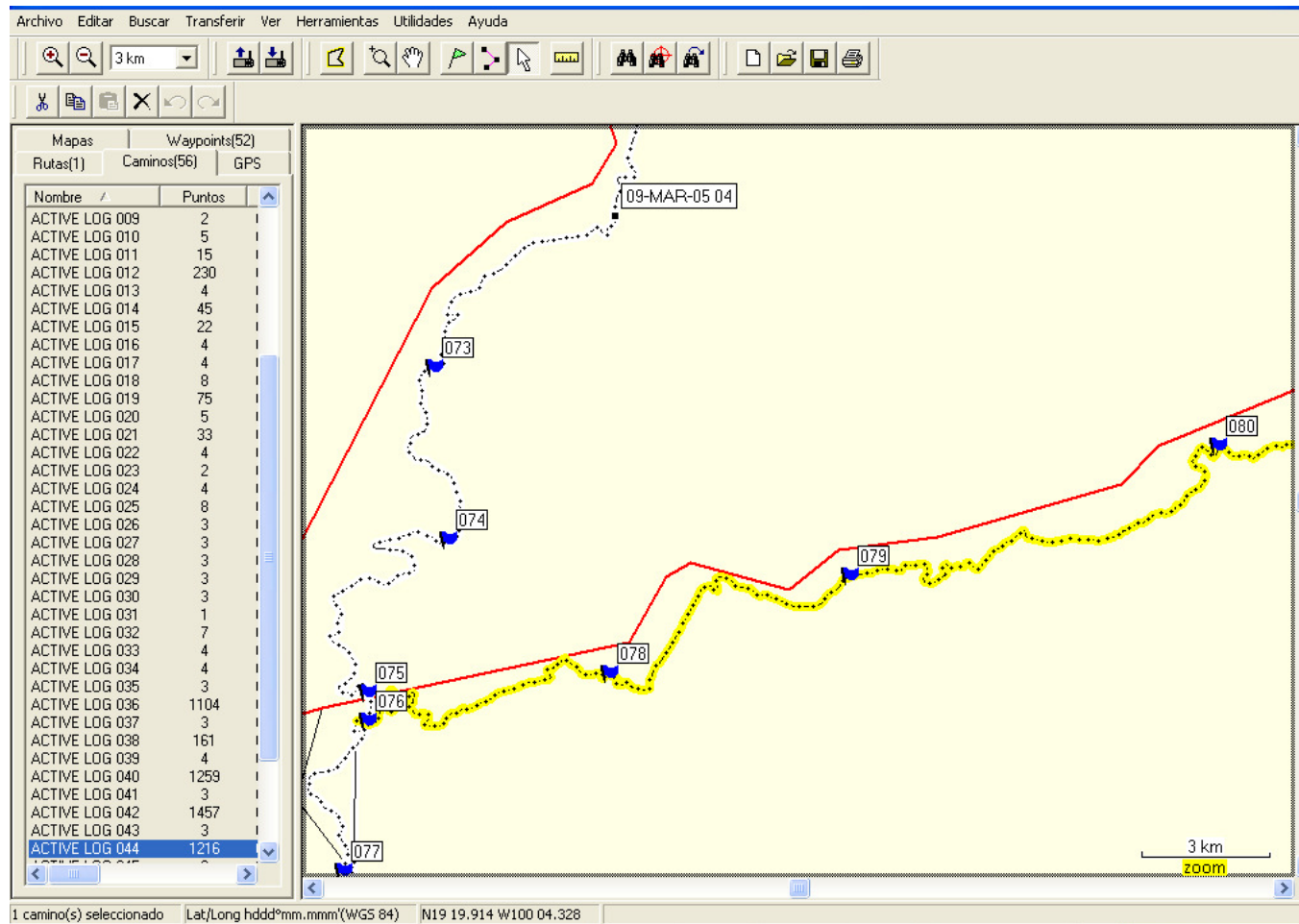
I. Planeación. La planeación de los trabajos de levantamiento de tiempos de recorrido es fundamental para economizar el tiempo y los recursos, esta actividad comienza con la familiarización de la zona de estudio, así como, con las vías a recorrer, al tener ubicadas las vías en donde se realizarán los recorridos, se determina el tiempo de realización aproximada de cada recorrido y estos se distribuyen a lo largo del día para cada uno de los periodos (pico y valle), un punto importante a destacar es el de conocer el inicio y el final del tramo a recorrer, así como los lugares de retorno, ya que conocerlos evitará que se pierda tiempo al tomar de forma equivocada alguna vía, se recomienda que el personal asignado a realizar los tiempos de recorrido tenga visitas previas a la zona para familiarizarse de manera directa, cuando esto no es posible, existen herramientas como **“Google earth”**, las cuales resultan de gran ayuda para esta actividad.

En esta etapa de planeación, es necesario establecer los puntos de control previamente, estos puntos son lugares de referencia o sitios importantes que sirven para delimitar los cambios de velocidad, el tipo de vía, el nivel urbano, etc. De igual forma se puede establecer como trabajo de gabinete utilizando la herramienta **“Google earth”**, es posible cargarlos al GPS para lograr observarlos mientras se están realizando los tiempos de recorrido.

Es importante hacer notar que los recorridos deben realizarse en días laborales, de martes a jueves, fines de semana y en temporada del año regular. Es decir, no se deben realizar durante las temporadas de vacaciones o periodos atípicos de la región.

II. Levantamiento. Para realizar el proceso del levantamiento de la información se explicará mediante la utilización de GPS. Lo principal es encender del GPS antes de encontrarse en el punto de inicio del tramo a recorrer para que el GPS logre captar la señal adecuada, debe estar programado para que registre la ruta y los puntos de control, se recomienda iniciar a la hora definida para el recorrido, teniendo en cuenta que ya se encuentra en marcha el vehículo y utilizando el método de **“Vehículo flotante”**, se procede a realizar el recorrido, marcando los puntos de control, que serán tanto inicio y fin de cada tramo, también es necesario marcar las demoras, el tiempo de la demora y el motivo de ésta. Al recabar los datos del GPS, es necesario que diariamente, se descarguen los archivos resultantes del levantamiento, y se guarden en otro dispositivo, esto se realiza con el fin de economizar el espacio disponible en la memoria del GPS y para llevar un orden en los registros. Los archivos que se recolectaron se observan como se muestra en la **Figura 12**, en la parte izquierda de la figura se muestran; el nombre de los **“recorridos”** que se realizaron, los puntos o **“tracks”** que contiene cada recorrido. Por otro en la parte derecha de la figura, se observan los **“Waypoints”** o puntos de control, cada uno tiene nombre o número definido, este sirve para ubicar lugares importantes para el estudio, así como para establecer cambios en las vialidades, estos pueden ser físicos u operativos.

Figura 12. Visualización de datos obtenidos con GPS.



Fuente: MapSource

Cada uno de los recorridos realizados tiene datos asociados, estos datos se visualizan en la **Figura 13**, en ella se observan los campos de;

- **Hora**, describe el día del levantamiento y la hora en que se tomó el dato del tramo en horas minutos y segundos.
- **Altura**, muestra la altura del tramo, respecto al nivel del mar.
- **Longitud del tramo**, se observa la longitud del tramo en metros.
- **Tiempo del tramo**, muestra el tiempo de recorrido en el tramo en horas minutos y segundos.
- **Velocidad del tramo**, velocidad del tramo en kilómetros por hora.

Figura 13. Vista de datos asociados con cada uno de los registros de archivos GPS.

Propiedades de camino

Nombre:

Puntos de camino:

☐ Centrar mapa en los elementos seleccionados

Índice	Hora	Altura	Longitud del tramo	Tiempo del tramo	Velocidad del tramo	Trayecto del tramo	Posición
221	09/03/2005 05:50:54 p.m.	2239 m	32.7 m	00:00:02	59 k/h	348° verdadero	N19 14.025 W100 03.858
222	09/03/2005 05:50:56 p.m.	2240 m	64.6 m	00:00:04	58 k/h	6° verdadero	N19 14.042 W100 03.862
223	09/03/2005 05:51:00 p.m.	2243 m	107 m	00:00:06	64 k/h	24° verdadero	N19 14.076 W100 03.858
224	09/03/2005 05:51:06 p.m.	2247 m	18.2 m	00:00:01	66 k/h	23° verdadero	N19 14.129 W100 03.833
225	09/03/2005 05:51:07 p.m.	2247 m	243 m	00:00:14	63 k/h	24° verdadero	N19 14.138 W100 03.829
226	09/03/2005 05:51:21 p.m.	2244 m	38.5 m	00:00:03	46 k/h	37° verdadero	N19 14.258 W100 03.771
227	09/03/2005 05:51:24 p.m.	2243 m	65.3 m	00:00:05	47 k/h	55° verdadero	N19 14.274 W100 03.758
228	09/03/2005 05:51:29 p.m.	2243 m	58.0 m	00:00:04	52 k/h	46° verdadero	N19 14.294 W100 03.728
229	09/03/2005 05:51:33 p.m.	2245 m	208 m	00:00:14	53 k/h	34° verdadero	N19 14.316 W100 03.704
230	09/03/2005 05:51:47 p.m.	2246 m	116 m	00:00:07	60 k/h	33° verdadero	N19 14.409 W100 03.637
231	09/03/2005 05:51:54 p.m.	2242 m	104 m	00:00:08	47 k/h	29° verdadero	N19 14.461 W100 03.601
232	09/03/2005 05:52:02 p.m.	2239 m	19.6 m	00:00:06	12 k/h	29° verdadero	N19 14.510 W100 03.573
233	09/03/2005 05:52:08 p.m.	2239 m	68.3 m	00:00:08	31 k/h	27° verdadero	N19 14.520 W100 03.567
234	09/03/2005 05:52:16 p.m.	2241 m	93.7 m	00:00:10	34 k/h	29° verdadero	N19 14.552 W100 03.549
235	09/03/2005 05:52:26 p.m.	2242 m	92.6 m	00:00:08	42 k/h	29° verdadero	N19 14.596 W100 03.523

Estadísticas del camino:

Puntos	Longitud	Área	Tiempo	Velocidad media
1216	73.6 km	114 kilómetros	01:45:06	42 k/h

Vínculo

Archivo/URL:

Fuente: Map Source

III. Análisis de datos. Para el procesamiento de los datos y su respectivo análisis, es necesario, unir tanto los datos de la hoja de datos, como los datos que se recabaron con el GPS, esto se observa en la **Figura 14**, ésta debe contener el número del punto de control, el nombre del punto de control, la longitud, los recorridos realizados en horas, minutos y segundos, tiempo de recorrido en minutos, demoras en minutos, y la velocidad de recorrido en kilómetros por hora.

Cabe señalar que, se debe realizar una hoja independiente para cada tramo o vialidad seleccionada, así como para cada periodo, horario y día de la semana.

Figura 14. Ejemplo de hoja de velocidades.

Velocidades y Demoras del Tránsito General en Vialidades

Nombre de la vialidad: Carr. Querétaro-Irapuato

Fecha: 03-Sep-04
Longitud: 103.10 km

Día: Viernes

Punto de inicio: Querétaro
Punto de terminación: Irapuato

Tiempo prom. de recorrido ida: 101.07 minutos
Velocidad prom. de recorrido ida: 61.21 km/h

Tiempo prom. de recorrido reg.: 86.90 minutos
Velocidad prom. de recorrido reg.: 71.19 km/h

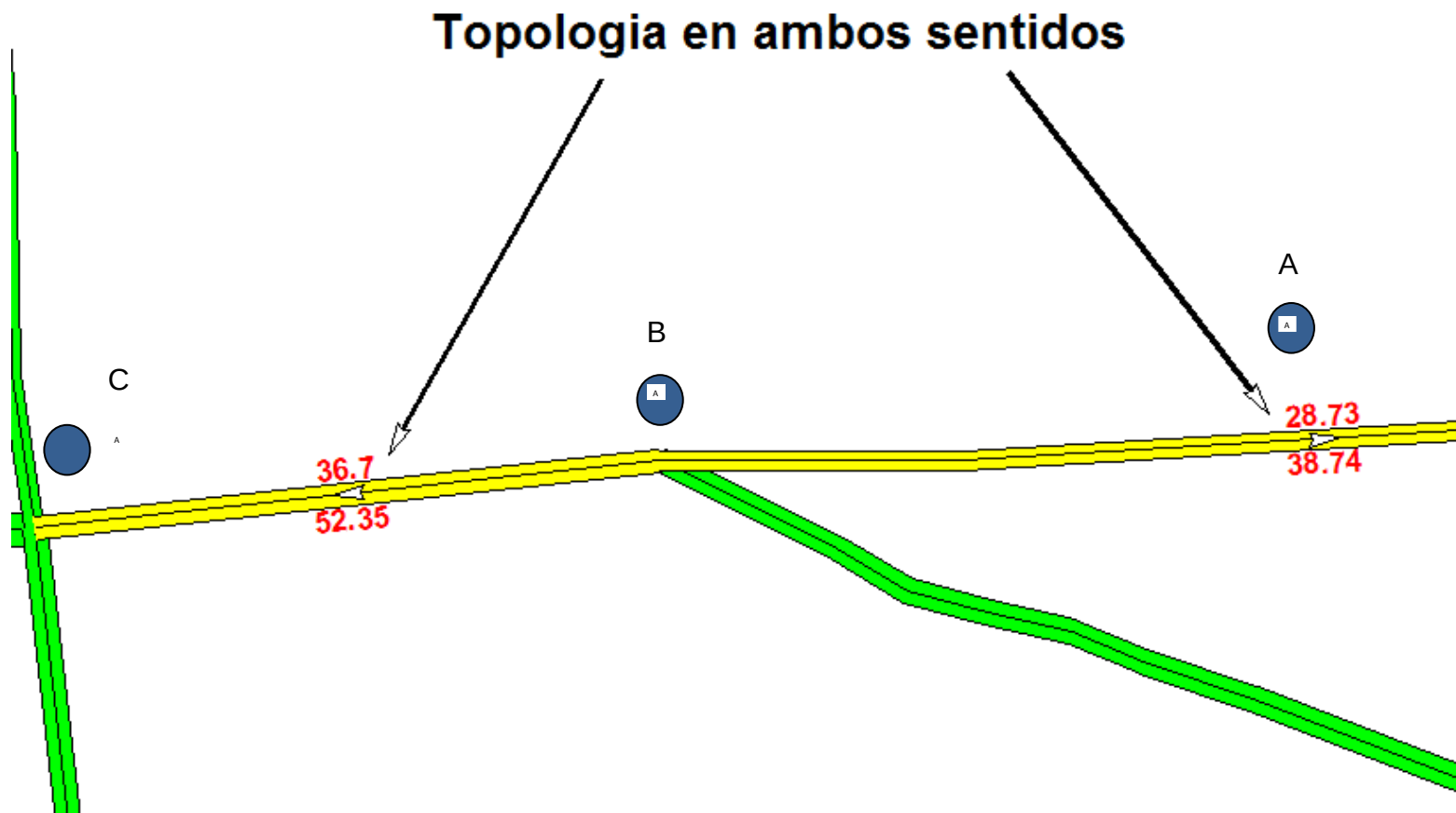
Ida	Punto de control	Long. km.	Recorrido 1			Recorrido 2			Recorrido 3			Tiempo de Rec. (min.)				Demoras (Min)				Velocidad de Rec. (km/h)				Velocidad de Marcha (km/h)			
			H	M	S	H	M	S	H	M	S	R1	R2	R3	Prom.	R1	R2	R3	Prom.	R1	R2	R3	Prom.	R1	R2	R3	Prom.
1	Salida San Luis Potosi	0.00	0	6	32	0	0	0	0	0	0	----	----	----	----	----	----	----	----	76.4	----	----	----	76.4	----	----	----
2	Jerecuaro	14.50	0	17	55							11.38			11.38					76.4				76.4			
3	Apaseo el Grande	3.30	0	21	7							3.20			3.20					61.9				61.9			
4	San Pedro Tenongu	4.90	0	25	25							4.30			4.30					68.4				68.4			
5	Ent. Irapuato Cuota	7.100	0	31	30							6.08			6.08					70.0				70.0			
6	Ent. Salvatierra Cuota	7.200	0	37	25							5.92			5.92					73.0				73.0			
7	Inicio Celaya	1.300	0	38	31							1.10			1.10					70.9				70.9			
8	Entr. San Miguel Ayende	7.100	0	52	6							13.58			13.58					31.4				31.4			
9	Entr. Queretaro Cuota	3.600	0	54	59							2.88			2.88					74.9				74.9			
10	Entr. Costazar	8.800	0	59	56							4.95			4.95					106.7				106.7			
11	Ent. Villagran	4.000	1	2	17							2.35			2.35					102.1				102.1			
12	Entr. A Salamanca	19.300	1	13	36							11.32			11.32					102.3				102.3			
13	Entr. A Morelia	4.400	1	16	46							3.17			3.17					83.4				83.4			
14	Entr. Salamanca-Irapuato	6.900	1	24	23							7.62			7.62					54.4				54.4			
15	Entr. Leon	10.500	1	32	7							7.73			7.73					81.5				81.5			
16	Irapuato	0.200	1	32	15							15.48			15.48					0.8				0.8			
Total		103.10	T.R.= 85.7 min			T.R.= 0.0 min			T.R.= 0.0 min			Tiempo prom. 101.07				0.0	0.0	0.0	0.0	Vel. Prom. 61.2				Vel. Prom. 61.2			

Regreso	Punto de control	Long. km.	Recorrido 1			Recorrido 2			Recorrido 3			Tiempo de Rec. (min.)				Demoras (Min)				Velocidad de Rec. (km/h)				Velocidad de Marcha (km/h)			
			H	M	S	H	M	S	H	M	S	R1	R2	R3	Prom.	R1	R2	R3	Prom.	R1	R2	R3	Prom.	R1	R2	R3	Prom.
1	Irapuato	0.00	0	0	0							----	----	----	----	----	----	----	----	24.8				24.8			
2	Entr. Leon	0.20	0	0	29							0.48			0.48					99.5				99.5			
3	Entr. Salamanca-Irapuato	10.50	0	6	49							6.33			6.33					102.2				102.2			
4	Entr. Morelia	6.90	0	10	52							4.05			4.05					48.9				48.9			
5	Entr. A Salamanca	4.400	0	16	16							5.40			5.40					109.2				109.2			
6	Entr. Villagran	19.300	0	26	52							10.60			10.60					112.5				112.5			
7	Entr. Cortazar	4.000	0	29	0							2.13			2.13					100.9				100.9			
8	Entr. Queretaro Cuota	8.800	0	34	14							5.23			5.23					66.5				66.5			
9	Entr. San Miguel Allende	3.600	0	37	29							3.25			3.25					37.5				37.5			
10	Termina Celaya	7.100	0	48	50							11.35			11.35					101.7				101.7			
11	Entr. Salvatierra Cuota	1.300	0	49	36							0.77			0.77					74.5				74.5			
12	Entr. Irapuato Cuota	7.200	0	55	24							5.80			5.80					76.8				76.8			
13	San Pedro Tenongu	7.100	1	0	57							5.55			5.55					59.4				59.4			
14	Apaseo el Grande	4.900	1	5	54							4.95			4.95					52.6				52.6			
15	Jerecuaro	3.300	1	9	40							3.77			3.77					50.5				50.5			
16	Entr. San Luis Potosi	14.500	1	26	54							17.23			17.23												
Total		103.10	T.R.= 86.9 min			T.R.= 0.0 min			T.R.= 0.0 min			Tiempo prom. 86.90				0.0	0.0	0.0	0.0	Vel. Prom. 71.2				Vel. Prom. 71.2			

Fuente: Modelación de la demanda para carreteras de cuota

IV. Colocación de datos en la red vial. Para colocar las velocidades promedio en la red vial digital, es necesario incorporar nuevos nodos en la red, estos deben estar en el lugar donde se colocaron los puntos de control, de esta forma es más fácil y rápido colocar los datos. El levantamiento de los tiempos de recorrido se realiza, por lo general, primero en el sentido del cadenamiento, por lo que es conveniente que la topología se encuentre en el mismo sentido que ese cadenamiento, es decir en sentido ascendente del kilometraje de la vía, si es una vía regional. Es importante identificar el trazo que tiene la red, es decir el sentido de la topología, ya que si se asignan los mismos datos a un tramo que cuente con topología diferente entre sí, se obtienen errores muy graves. En la **Figura 15** se aprecia una vía que cuenta con ambos sentidos, pero la topología tiene un sentido diferente en cada enlace, tomando en cuenta que los recorridos se realizaron A-B-C, y después C-B-A, el dato que se aplicará al enlace A-B es el que corresponde a la dirección BA, esto es debido a que la topología es contraria al sentido en que se levantó la información, por otro lado la información correspondiente al enlace B-C, se coloca la información en el sentido B-C, ya que la topología se encuentra en el sentido en el cual se levantó la información.

Figura 15. Error en datos por topología



Fuente: Elaboración propia

Cuando se encuentre identificado el sentido de la topología, es recomendable colocar un identificador tanto en la base de datos como en la red digital, esto con el fin de unir los datos de manera eficiente y rápida, ya que en el caso de la figura anterior, debido a la incorrecta interpretación del sentido topológico, se signaron los datos de forma errónea, es decir, el datos de 52.35 km/h debe ser colocado en el sentido oriente-poniente, y no en el sentido poniente-oriente.

Cabe aclarar que este paso es muy importante, y se deberán realizar pruebas a fin de lograr una correcta asignación de los datos de velocidades a la red vial digital.

Cuotas carreteras

Se describe la información referente al cobro por la circulación en las diferentes carreteras de cuota que forman parte de las vialidades en la zona de influencia, estas se colocan en la red, en el enlace donde se ubican las casetas de cobro.

11. Datos de la demanda

10.1 Aforos vehiculares

Los aforos vehiculares son el resultado de realizar un conteo de los vehículos que transitan por un punto determinado, en un periodo específico en una vía en particular, se presentan a continuación los tipos de levantamiento de aforos vehiculares.

- **Aforos de flujo.** Este tipo de aforos se realizan manualmente, es decir, se ubica el personal en el punto designado durante el periodo que se haya definido, y con contadores manuales se registra y anota la cantidad de vehículos que pasan por el punto en cuestión, es necesario, que se registren los diferentes tipos de vehículos que pasan por el lugar, generalmente se clasifican como; automóvil particular, autobús y camión.
- **Aforos semanales.** Estos aforos son levantados mediante mecanismos automáticos, como pueden ser contadores de neumáticos, cámaras de video, etc., como su nombre lo indica se requiere el levantamiento durante los siete días de la semana y las veinticuatro horas del día.
- **Aforos direccionales.** El levantamiento de este conteo es de manera manual, y se realiza en intersecciones importantes definidas por el modelador, la idea es registrar todos los movimientos que realizan los vehículos en ese punto durante el periodo de tiempo que defina el modelador.

El principal objetivo de la realización de toma de información vehicular a través de los estudios de aforos, es conocer el comportamiento de los flujos vehiculares en las vialidades estudiadas y que servirán de insumos para mostrar la congestión en la red vial, pero además, los datos obtenidos sirven para desestacionalizar y en su caso expandir los datos de las encuestas realizadas en el estudio.

10.2 Matrices origen-destino

Las matrices origen-destino se construyen a partir de la información obtenida del procesamiento de la información de las encuestas de origen-destino, de los flujos vehiculares entre las diferentes zonas definidas en el estudio, estas matrices reflejan el patrón de los viajes registrados en la zona, estas son realizadas por estación, por día (entre semana y fin de semana), por periodo (entre semana y fin de semana), por tipo de vehículo, por motivo de viaje, por nivel de ingresos, etc. La matriz está construida de la forma Zona Origen-Zona destino-número de viajes, es necesario que esté constituida por pares orígenes destinos únicos, es decir, no se deben encontrar en la matriz pares de viajes con la misma zona de origen y de destino, esto porque los programas con el cual se analizará la información, registran solo un único par origen-destino.

12. Análisis de la demanda

11.1 Caracterización de la demanda

Con base en la información que se desprende de la realización de las matrices origen-destino, es posible realizar una caracterización de los tipos de usuarios que utilizan la vía en cuestión, es decir, esta caracterización es la

representación de la información recabada de los usuarios que transitan por la vía y representa la proporción del total del flujo vehicular de los principales pares origen-destino.

13. Mapas temáticos

Los mapas temáticos son, representaciones gráficas, de características del territorio o propias de la infraestructura, se construyen a partir de los atributos que contiene la base de datos que está asociada a cada capa geográfica, estos mapas se componen de gamas de colores que identifican las categorías, rangos o características que se quieran representar, así como una simbología que logra identificarlos dentro del mapa.

Los elementos cartográficos resultan relevantes no solo por la representación gráfica de los datos obtenidos como resultado del estudio, sino también por ser una herramienta a través de la cual es posible detectar problemas en cuanto a la coherencia de los datos recabados, los mapas temáticos que requieren un análisis detallado debido a la complejidad de su elaboración son los mapas de líneas de deseo.

Las líneas de deseo representan los resultados de las matrices de viaje de manera lineal, es decir de forma gráfica es posible representar los pares de viajes que se tienen entre las zonas definidas para el proyecto, estos mapas resultan de gran ayuda para presentar informes de resultados, en los cuales es necesario representar ciertas características de los viajes, como pueden ser las zonas que tienen una mayor cantidad de viajes entre sí, el proceso para la realización de estos mapas se observa en el anexo 1

14. Modelo de asignación

Con los modelos de asignación se estiman los patrones de flujo en una red, es decir, asigna los viajes que se realizan a través de las vialidades. El modelo distribuye los viajes a través de la red vial digital, estos viajes toman como base las matrices creadas entre cada par de viaje Origen-Destino, los datos asociados a las matrices son cargados a la red, los datos asociados a la matriz están compuestos por tiempos o costos de viaje. La asignación de tráfico a la red es un elemento de suma importancia debido a que los datos recabados como resultado son un elemento clave en el análisis del pronóstico de la demanda de transporte, esto debido a que logran predecir los flujos sobre los arcos de la red y se generan estimaciones de tiempo de viaje, costos, además de otros atributos que se tengan asociados a la red.

El modelo de transporte debe ser alimentado con información que indique el patrón de los viajes que se realizan en la zona, así como, las características de los usuarios que realizan estos viajes. Además, es necesario contar con información acerca de los flujos vehiculares que se realizan en la zona de estudio, de esta manera el modelo contará con la información necesaria para representar en forma aproximada la realidad.

Cuando se cuenta con los elementos necesarios, en este caso la red vial, la zonificación, la matriz origen-destino, y los campos en la red de tiempo y capacidad de la vía, se comienza con la ejecución del modelo de asignación a la red.

El modelo que se utiliza en el proyecto es el denominado método de **“asignación con equilibrio del usuario”**, se plantea la utilización de este método, debido a su alto grado de efectividad, el método consiste en la realización de un proceso iterativo a través del cual se llega a una solución, en donde el principio básico es que, ningún usuario puede mejorar su tiempo de viaje

El proceso para lograr el modelo de asignación utilizando el programa TransCAD, comienza en la barra de herramientas en *Planning-Traffic Assignment*, a continuación se observa la ventana de asignación de tráfico, en esta se selecciona el método de **“equilibrio del usuario”**, así como la matriz que se usará para el modelo, y en seguida el campo que registra los viajes de la matriz.

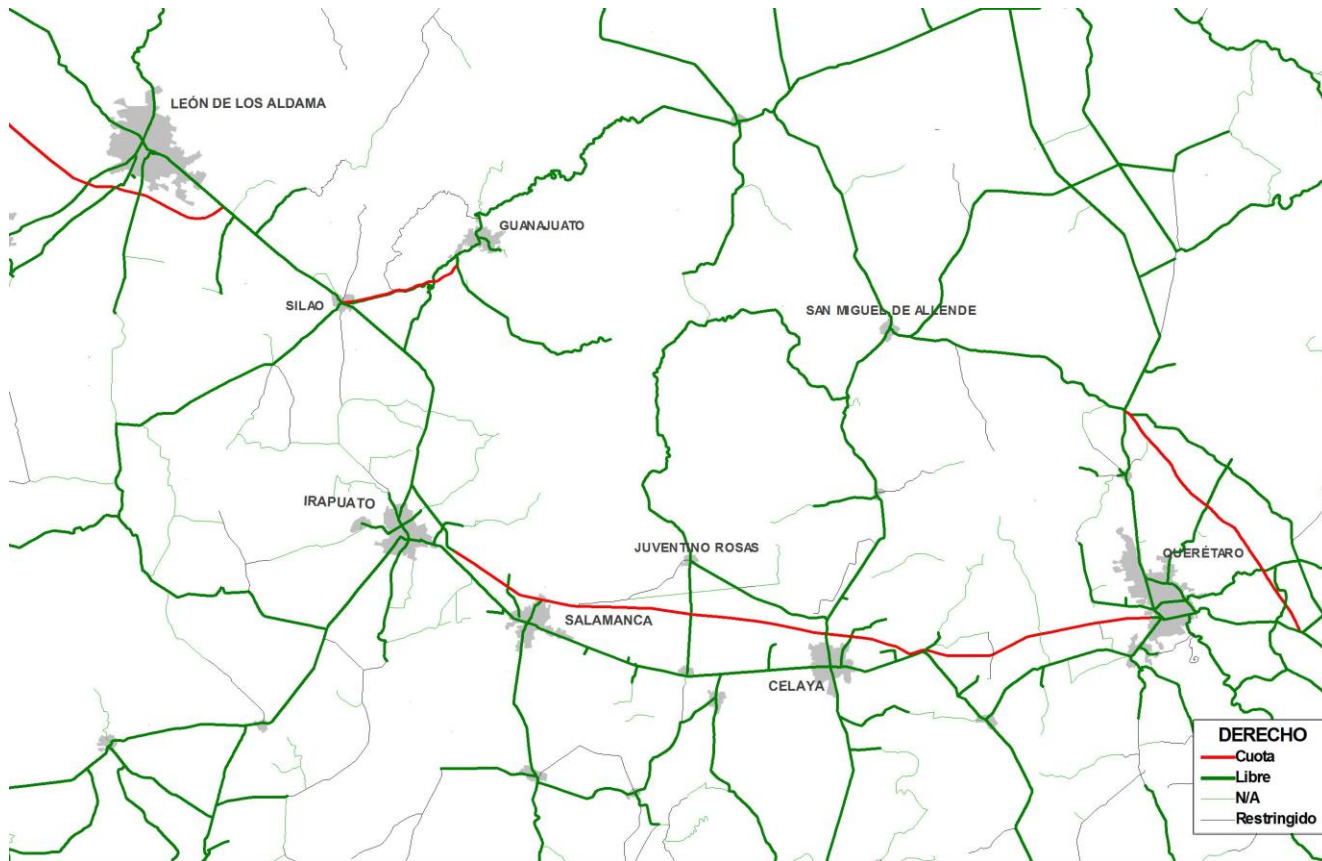
15. Caso de estudio

14.1 Introducción

La zona urbana del municipio de Celaya, Guanajuato tiene gran importancia dentro de la región centro de la República Mexicana, esto es debido a que el municipio forma parte de dos corredores viales importantes, uno de características industriales y el otro turístico.

El corredor industrial tiene su origen en la parte oriente del área de influencia definida para el proyecto, donde se generan y atraen gran cantidad de viajes de vehículos de transporte industrial, dentro de estas zona se encuentran las ciudades de: Salamanca, Irapuato, León y Guadalajara, este corredor se ubica dentro del el eje carretero longitudinal definido por la Secretaria de Comunicaciones y Transportes como Querétaro – Ciudad Juárez, este eje carretero está integrado por las carreteras León-Irapuato, Irapuato-Querétaro; el corredor pasa por la ciudad de Celaya para llegar a otras ciudades, también con características industriales como; San Juan del Río, Querétaro, además de otras zonas industriales importantes del Estado de México y el Distrito Federal a través de las carreteras México-Querétaro y Palmillas-Atlacomulco.

Figura 16. Eje carretero longitudinal



Fuente. Elaboración propia con base en red nacional de carreteras.

Un punto adicional de este corredor industrial es el que tiene su origen en las localidades de Acámbaro y Salvatierra, que se integran al eje transversal Manzanillo–Tampico con ramal a Lázaro Cárdenas.

Figura 17. Eje carretero transversal



Fuente. Elaboración propia con base en red nacional de carreteras.

Con base en la importancia que se presenta en la zona, según la Secretaría de Comunicaciones y Transporte, se muestra evidente la importancia del proyecto del Libramiento Nororiente de Celaya para la región, ya que permitirá la conexión de los usuarios del libramiento Sur de Celaya con la autopista Querétaro-Irapuato, de esta forma se evita el paso de los usuarios por la zona urbana de la ciudad de Celaya.

Por otro lado, el otro corredor, de carácter turístico dentro de la zona de influencia del proyecto es el que une a tres municipios; Guanajuato, San Miguel de Allende y Dolores Hidalgo de gran relevancia turística en la zona y en el país.

Figura 18. Corredor turístico



Fuente. Elaboración propia con base en red nacional de carreteras.

Restricción de tránsito vehículos de carga ciudad de Celaya.

En el año 2009, las principales vías de la ciudad de Celaya contaban con restricciones de paso a vehículos pesados por considerarse primarias en la zona urbana de la Ciudad, lo anterior con fundamento en los artículos 102 y 103 del Reglamento de Tránsito para el Municipio de Celaya.

- Art.102 Queda estrictamente prohibido a los vehículos considerados pesados y en general todos aquellos que transporten material peligroso transitar por la zona urbana del municipio de Celaya, debiendo de hacerlo exclusivamente por los libramientos y las carreteras federales o de cuota. En los casos en que el destino del vehículo que refiere el párrafo anterior sea dentro de la zona urbana, el conductor del vehículo deberá exhibir su carta porte que señale el destino del vehículo con el producto, debiendo acceder a la ciudad por el punto más cercano a su destino, evitando al máximo cruzar la zona urbana.
- Art.103 Para hacer maniobras de carga y descarga vehículos pesados o de grandes dimensiones podrán hacerlo exclusivamente de las 22:00 a las 6:00 horas del día siguiente previo permiso otorgado por la Dirección de Transporte y Vialidad.

La importancia que tiene el proyecto a nivel local, radica en el hecho del impacto que tendrá el contar con una vialidad como el libramiento Nororiente de Celaya, que representa una vialidad rápida y segura para los usuarios, y que logrará evitar que el tráfico pesado circule por las vialidades urbanas, y se verá reflejado en una menor

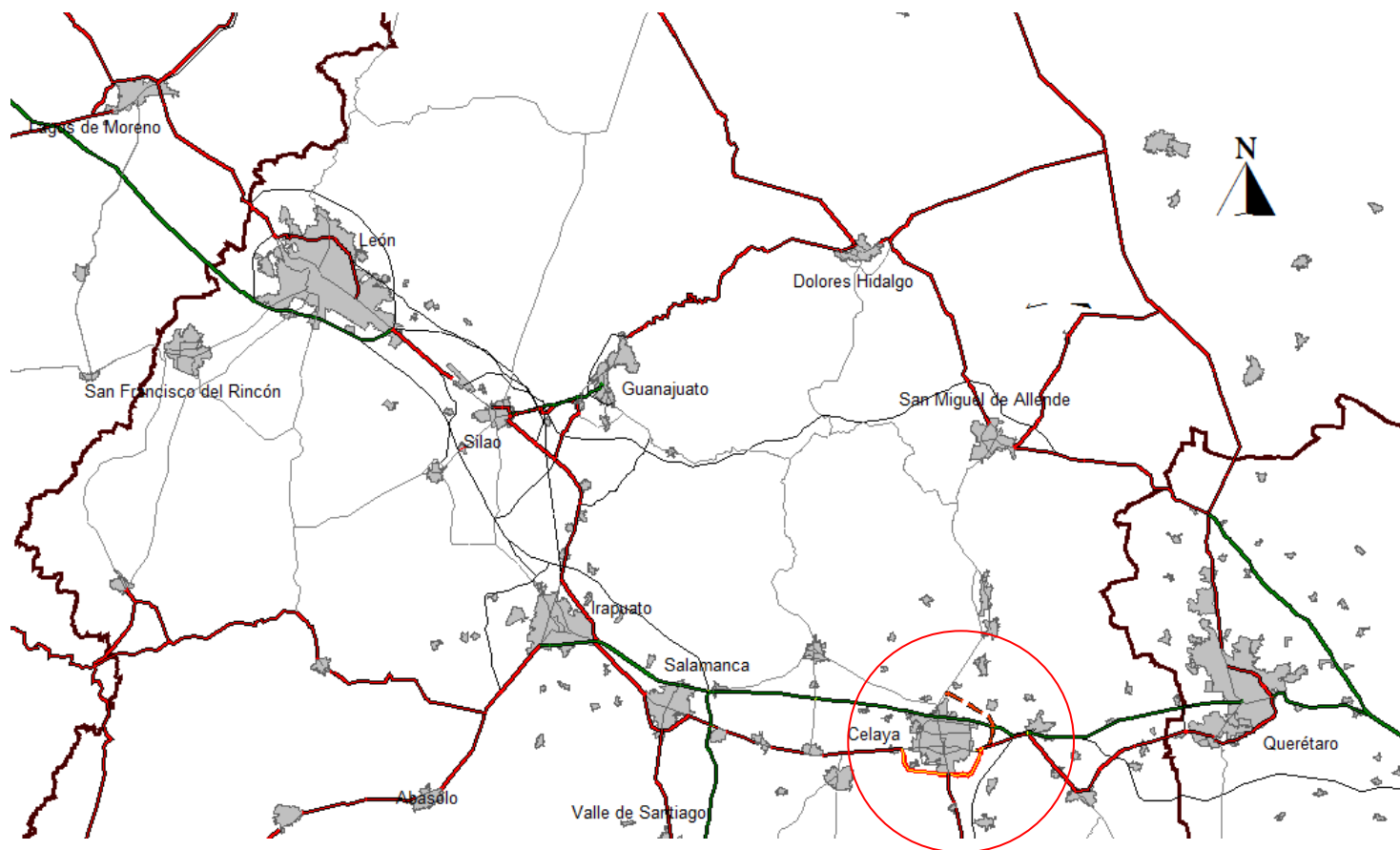
congestión de las vialidades de la ciudad y por consiguiente una conservación física de las avenidas locales, lo que representará un beneficio importante para sus habitantes.

14.2 Delimitación del área de estudio

Dentro del estudio de demanda que se realiza para la construcción del “Libramiento Nororiente de Celaya”, el punto de partida es conocer la importancia que el proyecto tendrá en la zona, así como el área de influencia que abarcará, además, es necesario conocer con exactitud cuál es el trazo del proyecto, se debe contar con un archivo geográfico a través del cual se logre tener la referencia exacta, ya que a partir de la nueva vía se desarrollará todo el análisis,

Dentro del estudio de demanda del proyecto Libramiento Nororiente de Celaya se aprecia físicamente en la **Figura 19** el área que abarca la red de influencia.

Figura 19.Área de influencia del proyecto



Fuente. Elaboración propia con base en red nacional de carreteras.

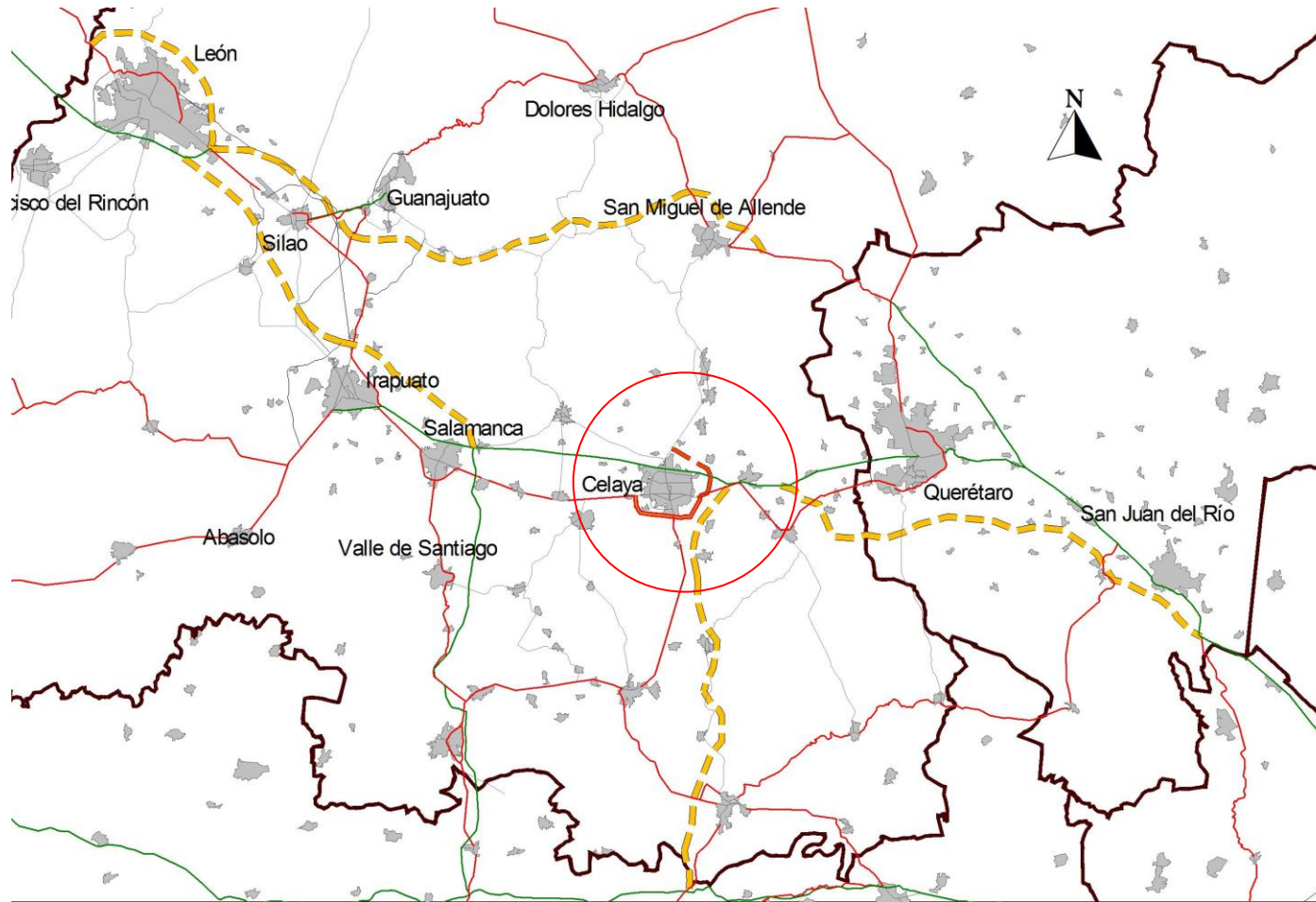
Las principales ciudades que tienen relación directa con el proyecto del Libramiento Nororiente de Celaya se muestran en la **Figura 19** y son: Salamanca, Querétaro, Irapuato, Guanajuato, León, Silao y San Miguel de Allende, de manera lejana es la influencia que se tiene con Guadalajara, el Estado de México y el Distrito Federal, ya que varios ejes carreteros importantes atraviesan o pueden ser susceptibles de utilizar la zona de estudio. Es importante apreciar las diversas características económicas de la región, ya que para este proyecto resultan relevantes las zonas turísticas y de servicios.

14.3 Proyectos futuros

Los proyectos que se realizarán en el área de influencia de nuestro proyecto, se aprecian en la **Figura 20** en esta se muestra los cuatro proyectos que a futuro se construirán y que directamente afectarán el flujo vehicular en la zona del proyecto del libramiento nororiente de Celaya. Los proyectos a realizar en la zona de influencia son:

- La autopista Salamanca-León.
- La autopista Guanajuato-San Miguel de Allende.
- La autopista Palmillas-Los Apaseos.
- La autopista Celaya-Acámbaro.

Figura 20.Proyectos dentro del área de influencia



Fuente: Elaboración propia con base en datos del Plan Nacional de Infraestructura (PNI).

En la figura anterior se logra observar la cobertura de los proyectos carreteros futuros dentro de la zona de influencia, y que modificarán considerablemente los flujos vehiculares en la zona de estudio.

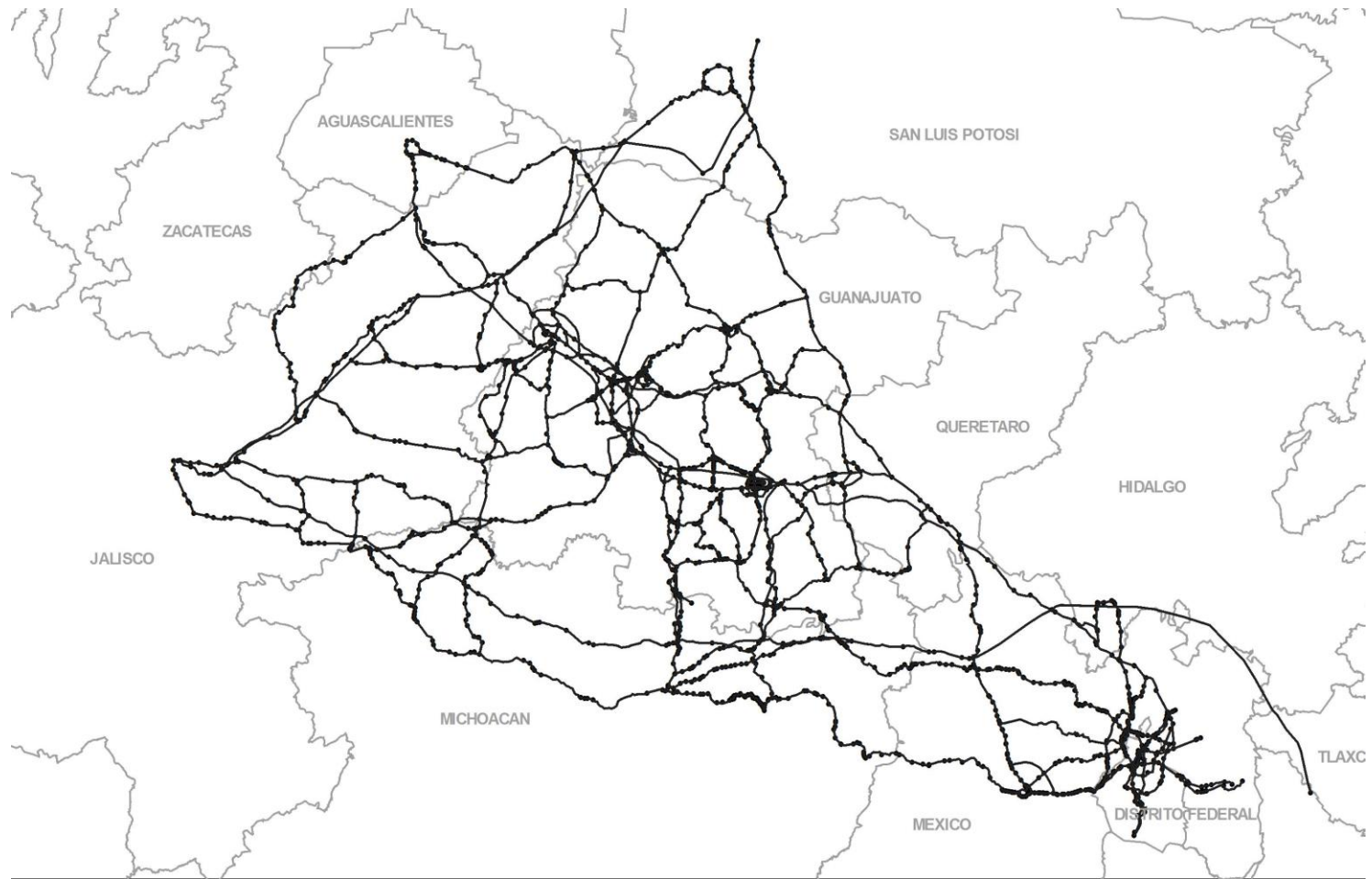
La información de los proyectos regionales se encuentra disponible dentro del Plan Nacional de Infraestructura o dentro de los planes estatales de desarrollo que abarca el área de influencia del proyecto.

Para la realización de este estudio no se tomaron en cuenta proyectos de remodelación o de mejoramiento de vías, solo se tomaron en cuenta la construcción de nuevas vialidades que resultan ser competencia directa o complemento del proyecto

14.4 Construcción de la red vial

La red vial utilizada para este proyecto se realiza utilizando el programa TransCAD, y se construyó tomando de inicio un archivo geográfico de líneas, la red vial final consta de 2142 enlaces y 1904 nodos, en la **Figura 21** se aprecia la cobertura de la red vial de influencia.

Figura 21. Red vial de influencia.



Fuente: Elaboración propia con base en datos del proyecto Celaya

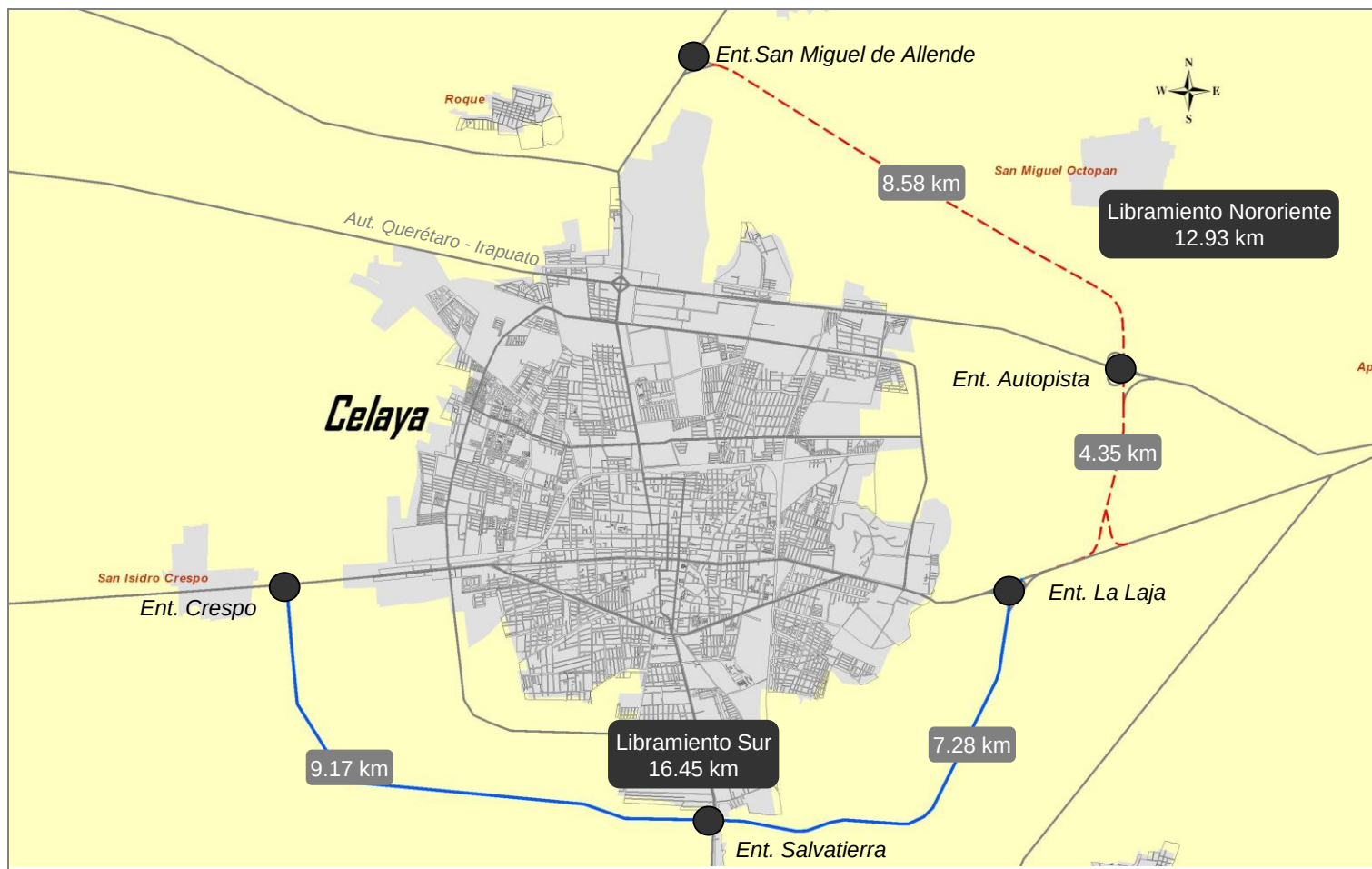
Además de la representación de la infraestructura actual y futura en la red vial, se integraron los enlaces y nodos que representan el trazo del proyecto del Libramiento Nororiente de Celaya, con todas sus características físicas y operativas.

En la **Figura 22** se aprecia el trazo del proyecto de construcción del Libramiento Nororiente, así como su longitud, la cual es de 12.93 km, el trazo que se propone va de la carretera federal Querétaro-Irapuato, a la altura del entronque La Laja, hasta la carretera Celaya-San Miguel de Allende al norte de la ciudad, a 8 kilómetros de la zona centro de Celaya, en la parte sur se aprecia el Libramiento Sur de Celaya que tiene una longitud de 16.45 km.

El primer tramo del libramiento nororiente de Celaya comienza en el entronque que será construido para unir el tramo La Laja del libramiento Sur con el proyecto, y termina en un segundo entronque planteado en la autopista Querétaro-Irapuato.

El segundo tramo que se tiene planeado construir, sigue a partir del entronque con la autopista Querétaro-Irapuato y llega hasta un tercer entronque con la carretera Celaya-San Miguel de Allende, con una longitud de 8.58 Kilómetros.

Figura 22. Trazo y longitud del proyecto.



Fuente: Elaboración propia con base en datos del proyecto Celaya

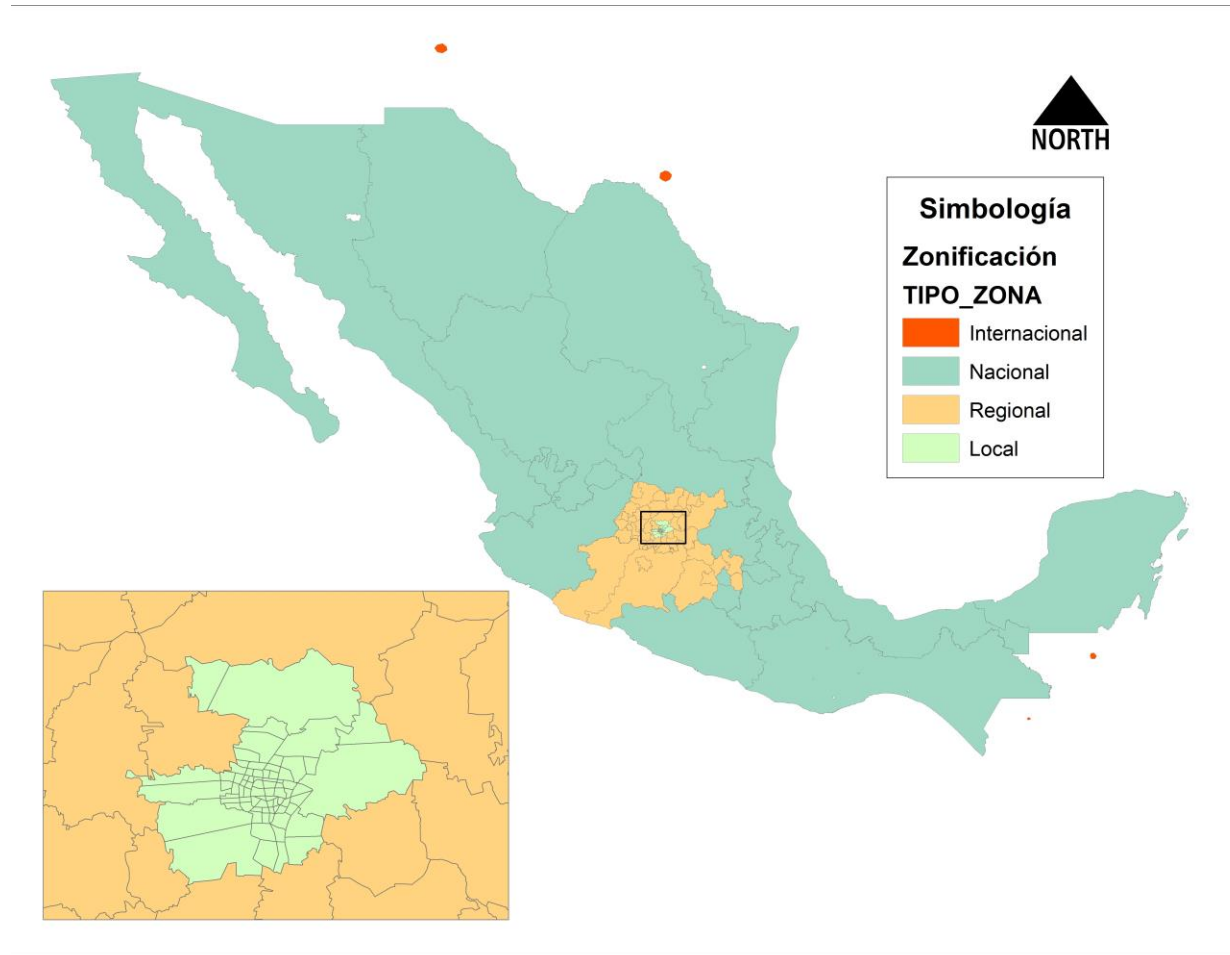
14.5 Zonificación

Para el proyecto del Libramiento Nororiente de Celaya el territorio de la República Mexicana se dividió en 105 zonas, de las cuales 17 son zonas nacionales, 53 zonas regionales, 76 zonas locales, además de 4 son zonas internacionales en la **Figura 23** se observa la división de las zonas.

La figura muestra la agrupación de zonas de la República Mexicana, de esta forma se observan en color azul las zonas nacionales, las cuales son resultado de la agrupación de estados, en color naranja se aprecian las zonas de carácter regional, estas se forman a partir de los municipios que se encuentran cercanos a la zona de estudio, las zonas locales, resultaron a partir de la división de los municipios inmediatos al área del proyecto.

Por último, se crearon pequeños polígonos, que se ilustran en color rojo para representar las zonas internacionales, tanto en la parte norte como en la parte sur de la República.

Figura 23. Zonificación del proyecto Libramiento Nororiente de Celaya



Fuente: Elaboración propia con base en datos del proyecto Libramiento Nororiente de Celaya.

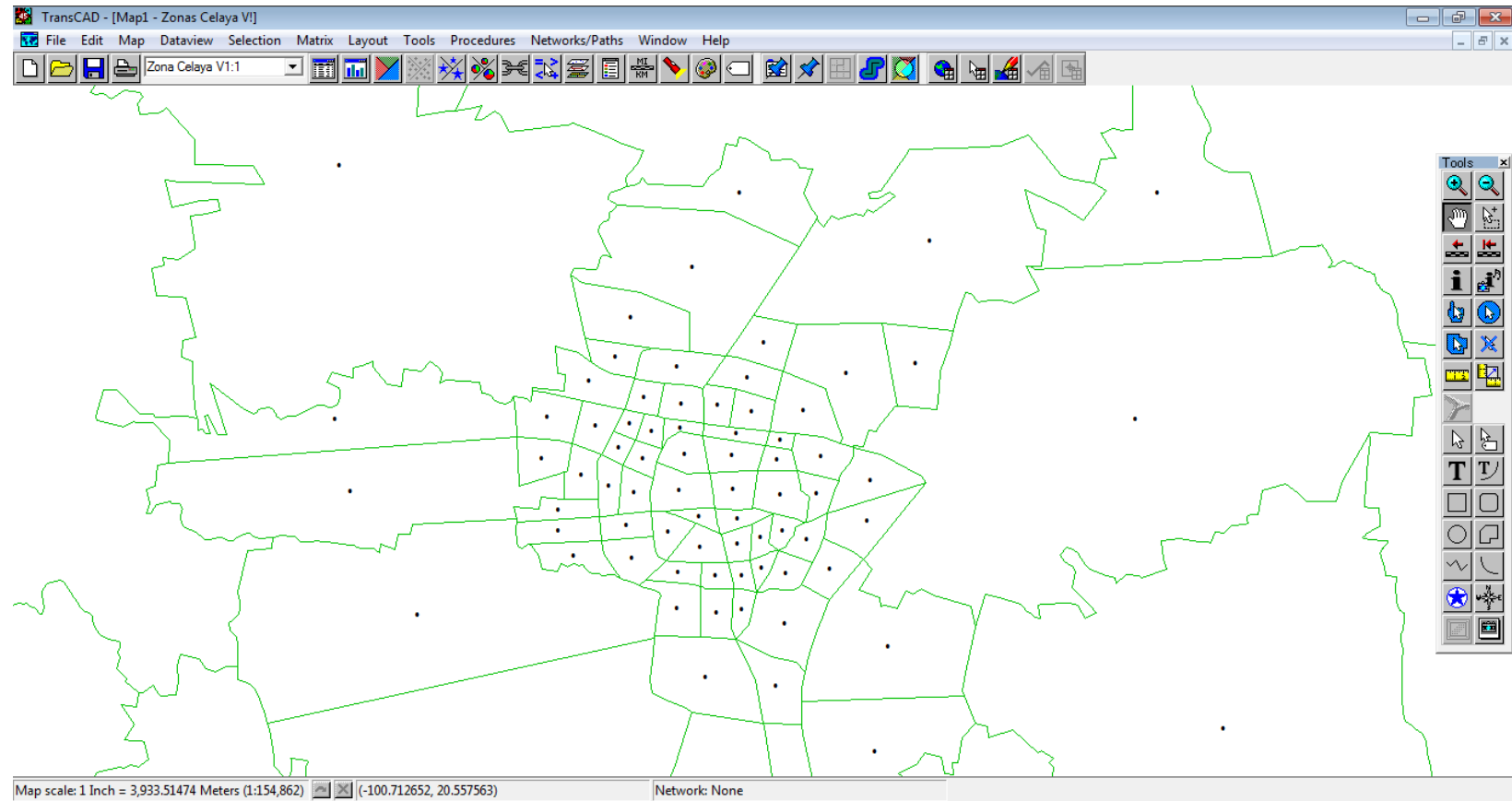
14.1 Catálogo de zonas

En el catálogo de zonas se describen la agrupación o desagregación de elementos territoriales a nivel, estado, municipio, colonia y localidad, a partir de los polígonos de zonificación utilizados para el estudio.

14.2 Centroides

La ubicación de los centroides creados a partir de los polígonos de la zonificación se observan en la **Figura 24**, en esta figura, los polígonos de la zonificación están representados en color verde, los centroides, son el punto que se observa dentro de cada uno de los polígonos, y que representan el centro geográfico de cada polígono de la zonificación, este se ubicó en forma manual hacia donde se dirige la mayor cantidad flujos vehiculares.

Figura 24. Zonificación y centroides.



Fuente: Elaboración propia con base en datos del proyecto Libramiento Nororiente de Celaya

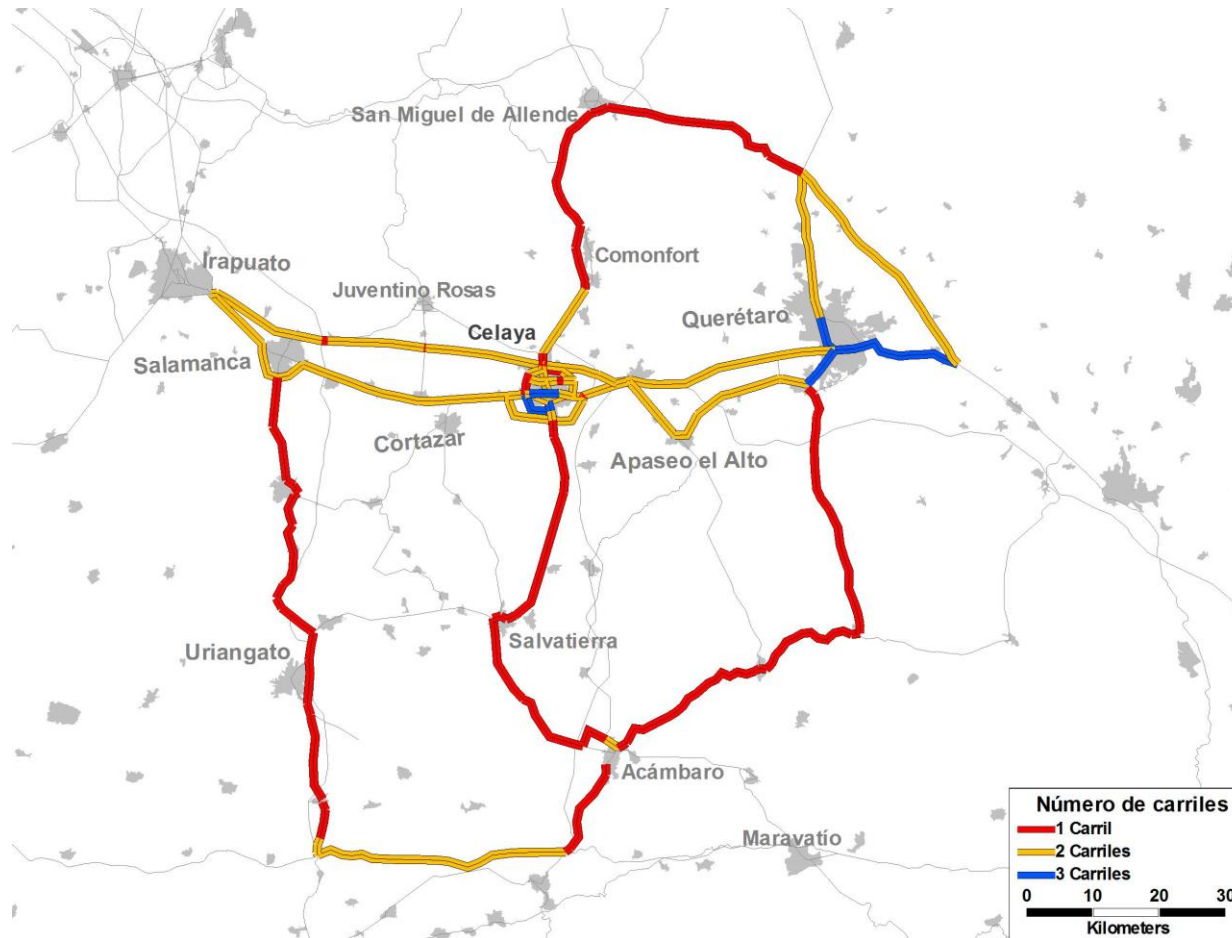
14.3 Datos de la oferta

Los datos de la oferta, están representados por las características físicas y operativas de la infraestructura vial que forma parte de la red de influencia, toda la red vial se encuentra caracterizada al nivel físico y operativo, a continuación se presentan los resultados de las vialidades en las cuales se realizó verificación de datos de oferta mediante levantamiento de datos físicamente sobre la vía.

14.4 Número de carriles

Identificar el número de carriles de las vías, es uno de los datos más relevantes, debido a que con base en este atributo se definen la capacidad de la vía y el nivel de servicio que tiene la vialidad, en la **Figura 25** se logra apreciar gráficamente los lugares por donde se realizaron los recorridos del proyecto Libramiento Nororiente de Celaya, a este nivel de detalle se pueden apreciar los errores si es que a algún enlace se le asignó un número de carril diferente al que tiene en realidad, y así corregirlo.

Figura 25. Mapa de número de carriles regional.

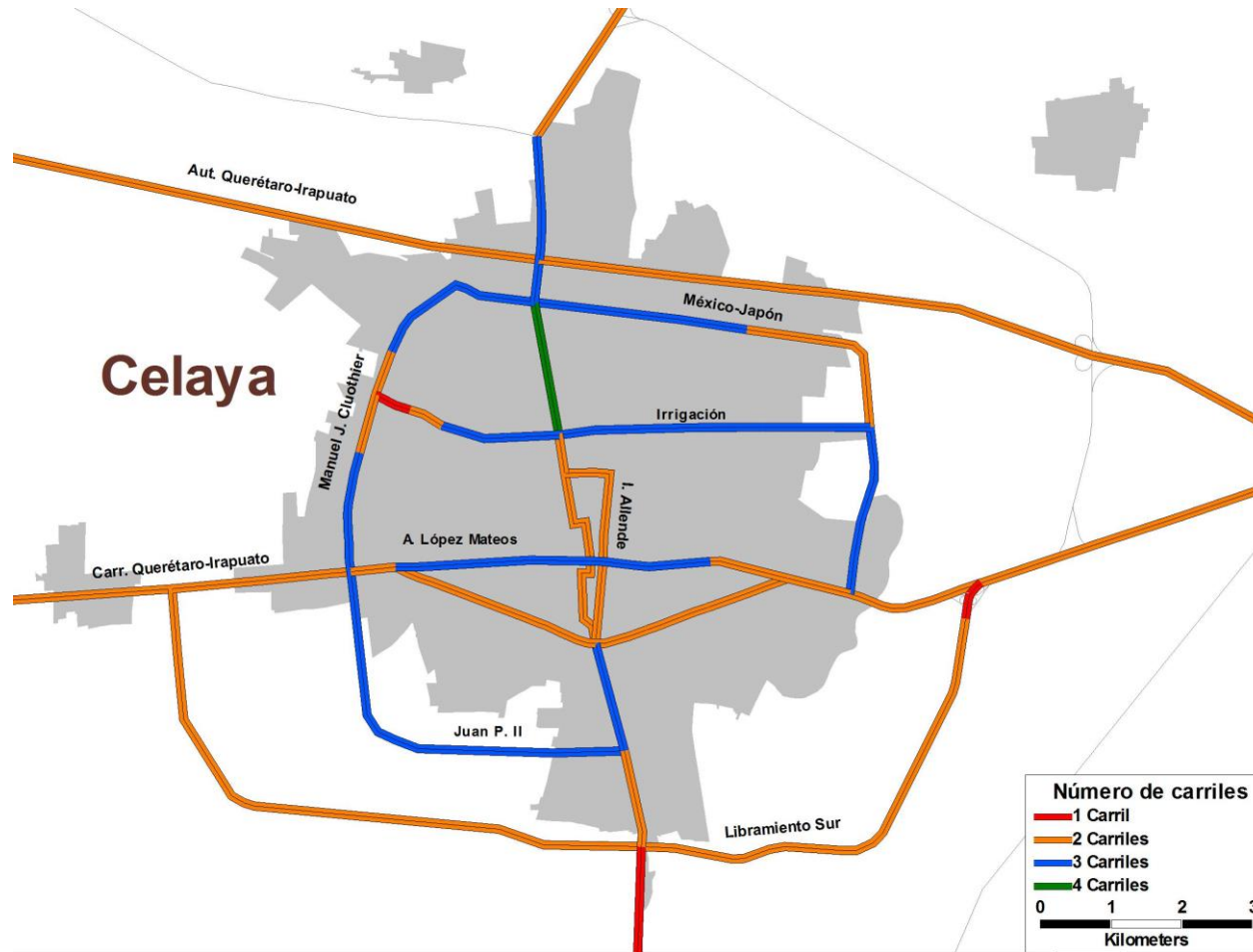


Fuente: Elaboración propia con base en datos del proyecto Libramiento Nororiente de Celaya.

Los principales resultados que nos arroja es que tanto la autopista de Querétaro-Irapuato constan de dos carriles por sentido, también se identifica que vialidades de carácter regional y que resultan importantes en la zona como lo son, la carretera a San Miguel de Allende y la carretera a Salvatierra cuentan con un carril por sentido.

En la **Figura 26** se muestra el mapa temático referente al número de carriles de las vialidades urbanas más importante y que se analizaron de la ciudad de Celaya, lo que destaca en este análisis, es que las principales avenidas constan de mínimo dos carriles por sentido, e incluso algunas con tres carriles por sentido como es el caso de la Avenida Adolfo López Mateos.

Figura 26. Mapa de número de carriles urbano



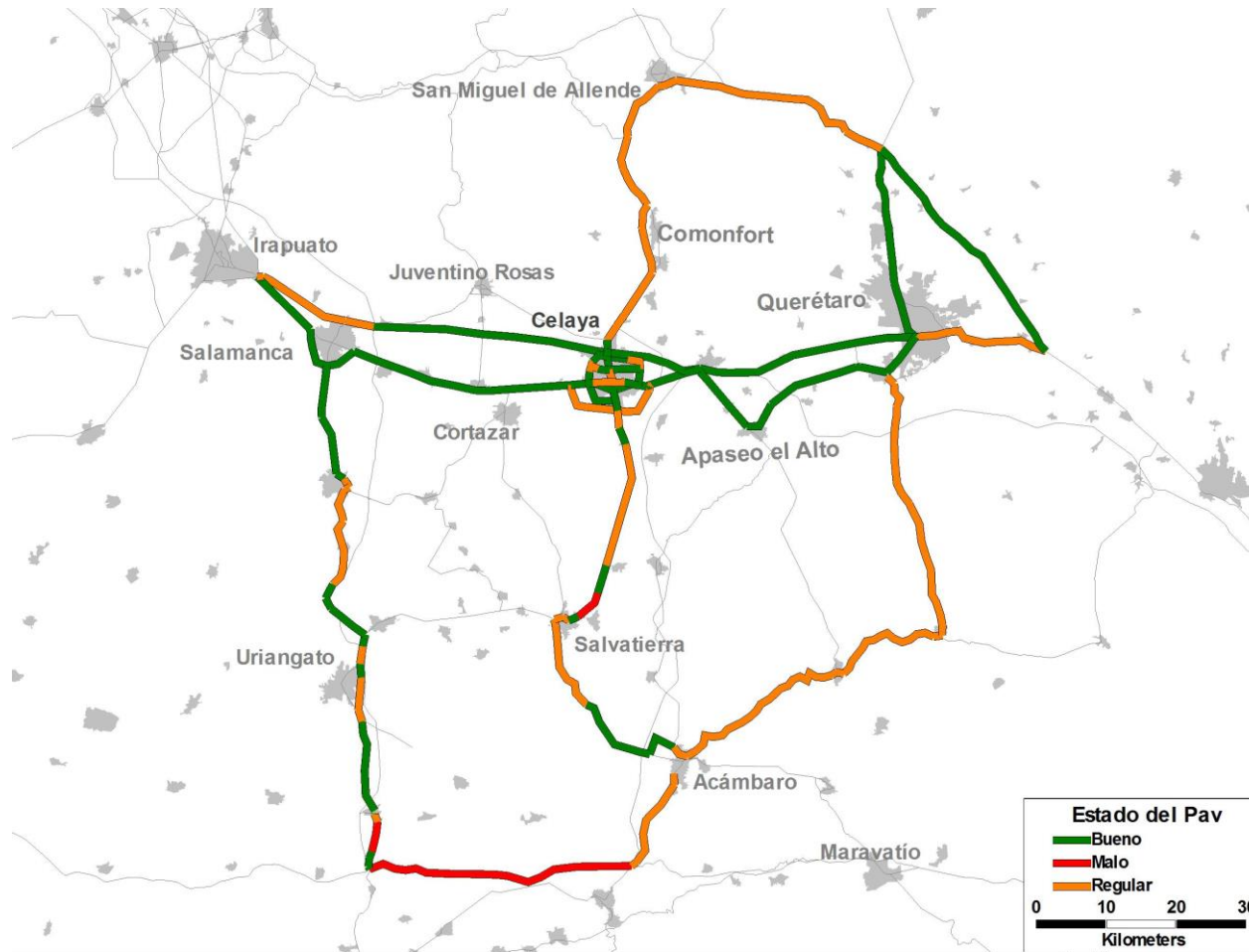
Fuente: Elaboración propia con base en datos del proyecto Libramiento Nororiente de Celaya.

14.5 Estado del pavimento

El estado del pavimento representa una característica de gran importancia física y operativa de la vialidad dentro del análisis, la importancia radica en el hecho de que un buen estado de la vía, así como su adecuado mantenimiento, permitirá que los vehículos que transiten alcancen las velocidades correspondientes en para cada tramo. La **Figura 27** muestra el estado en que se encuentran las principales vialidades regionales. Los principales resultados indican que en general estas vialidades se encuentran en buen estado, a pesar de que por algunas vías transitan gran cantidad de camiones de carga.

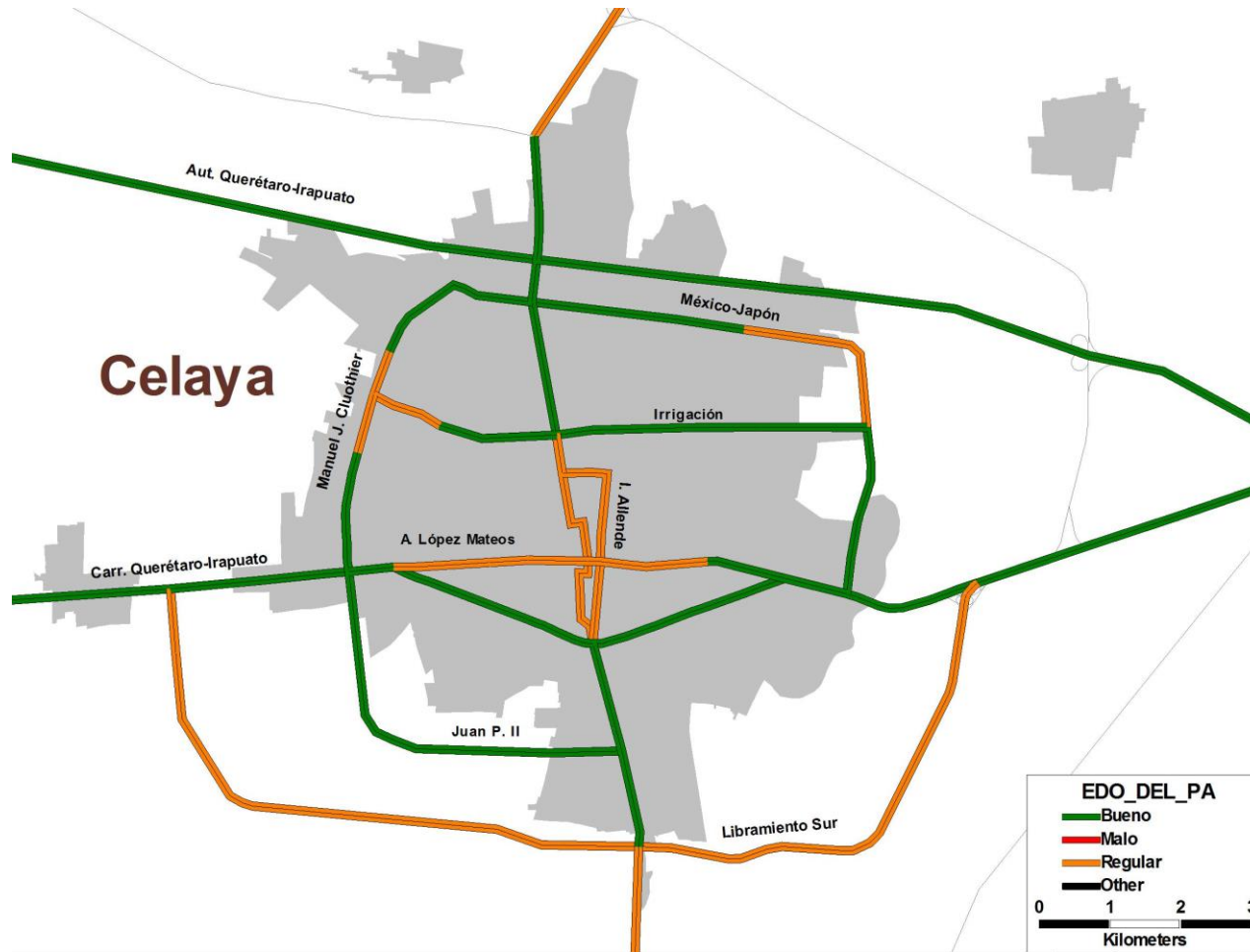
Por otro lado, al realizar el análisis del estado del pavimento para las vialidades de carácter urbano, se aprecia que en general también se encuentran en buen estado, cabe destacar que el Libramiento Sur de Celaya se encuentra en un estado regular, es importante esta situación ya que es una vía de cobro e indica que no se le presta el mantenimiento adecuado, y esto puede verse reflejado en la operación de la vialidad. El mapa temático referente al estado del pavimento de las vialidades regionales se aprecia en la **Figura 28**.

Figura 27. Mapa de tipo de pavimento regional.



Fuente: Elaboración propia con base en datos del proyecto Libramiento Nororiente de Celaya.

Figura 28. Mapa de tipo de pavimento urbano.

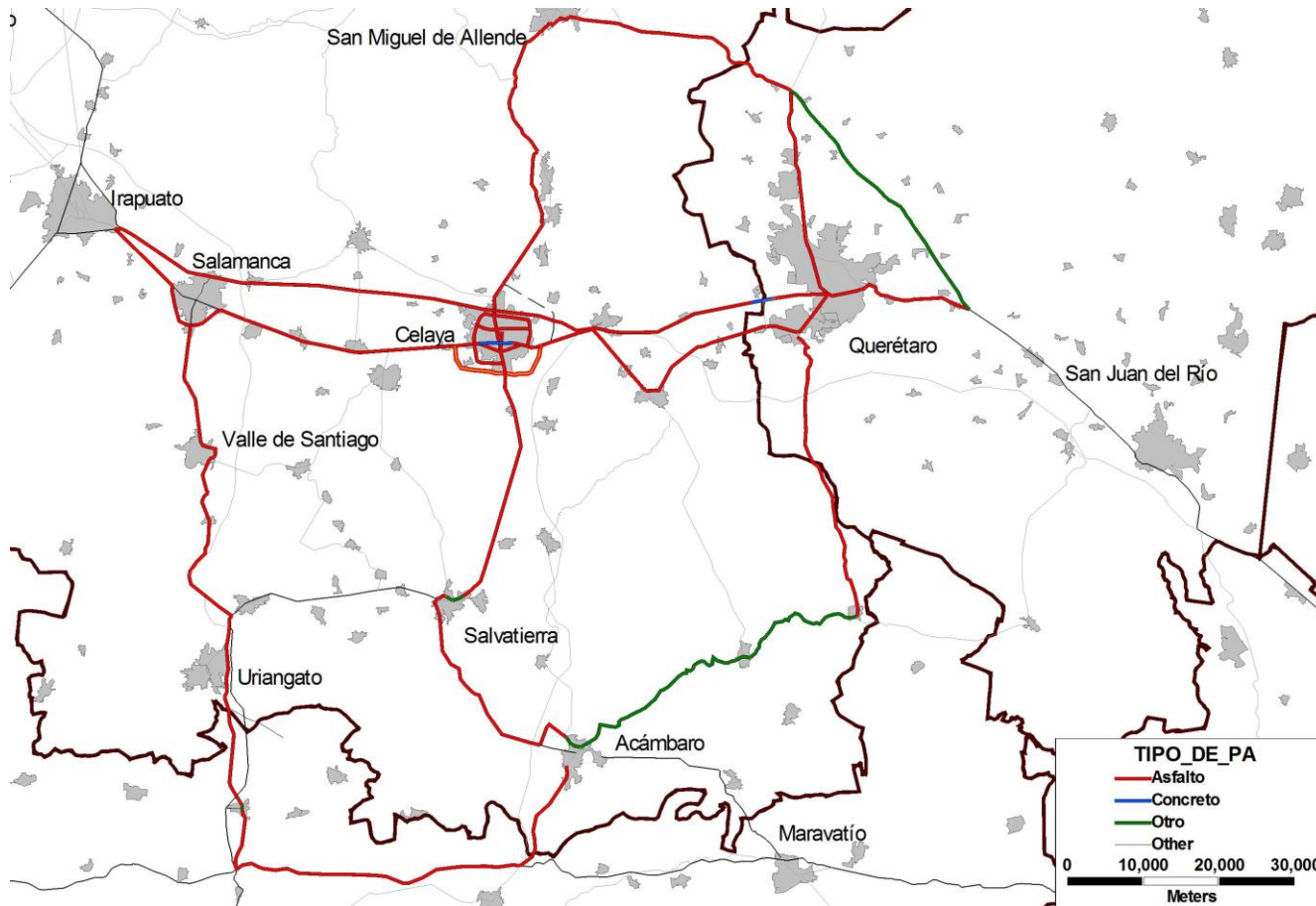


Fuente: Elaboración propia con base en datos del proyecto Libramiento Nororiente de Celaya.

14.6 Tipo de pavimento

La **Figura 29** muestra los datos asociados al tipo de pavimento que se registraron en el levantamiento de campo dentro del proyecto Libramiento Nororiental de Celaya, destaca que en su mayoría en las vialidades analizadas se encuentran asfaltadas.

Figura 29. Mapa de tipo de pavimento.

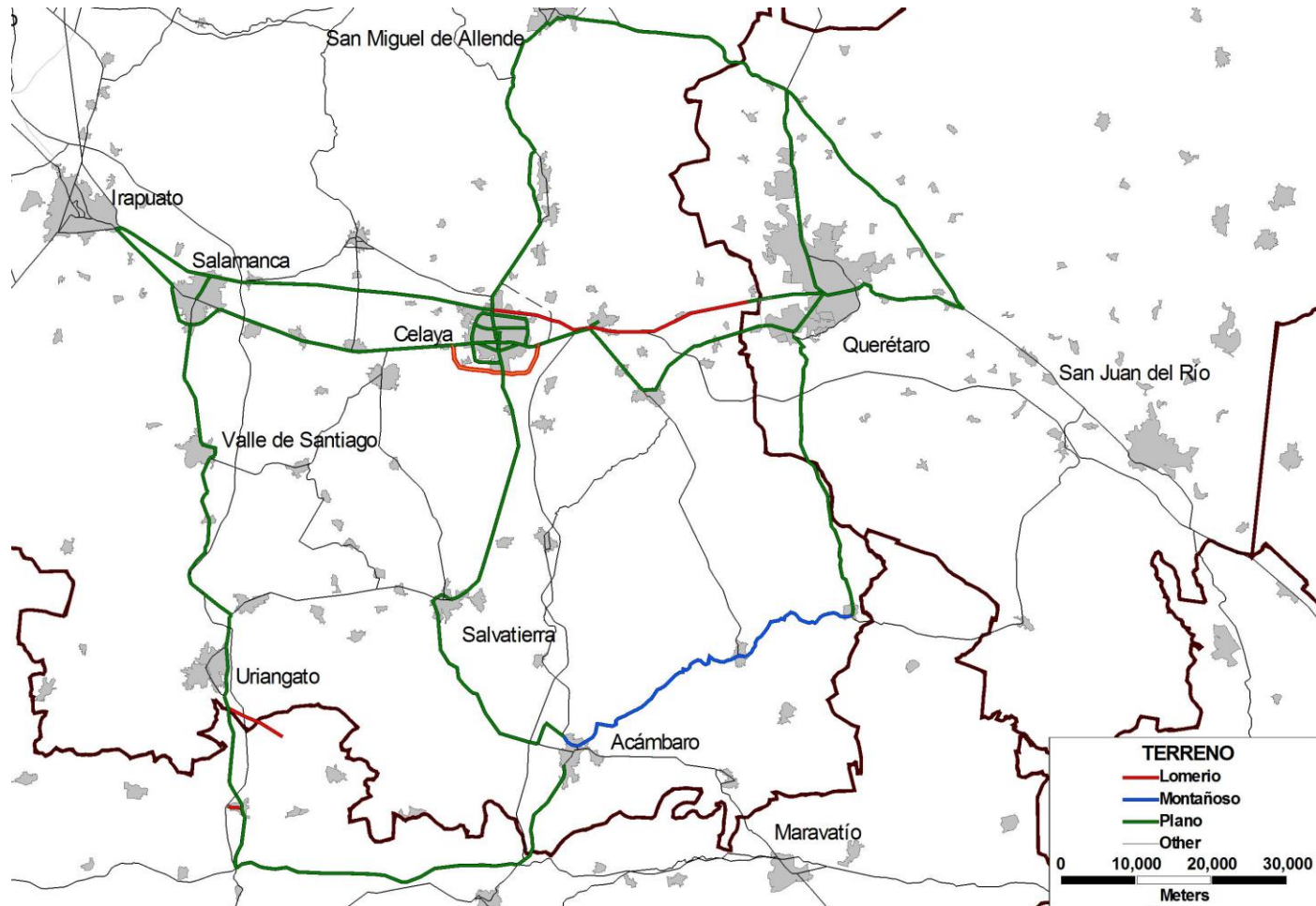


Fuente: Elaboración propia con base en datos del proyecto Libramiento Nororiente de Celaya.

14.7 Tipo de terreno

La **Figura 30** muestra gráficamente los datos referentes al tipo de terreno que se obtuvo mediante el levantamiento de campo, el dato que se logra apreciar es, que la mayoría de las vialidades donde se realizó el levantamiento cuenta con tipo de terreno plano, en menor porcentaje lomerío y montañosos.

Figura 30. Mapa de tipo de terreno



Fuente: Elaboración propia con base en datos del proyecto Libramiento Nororiente de Celaya.

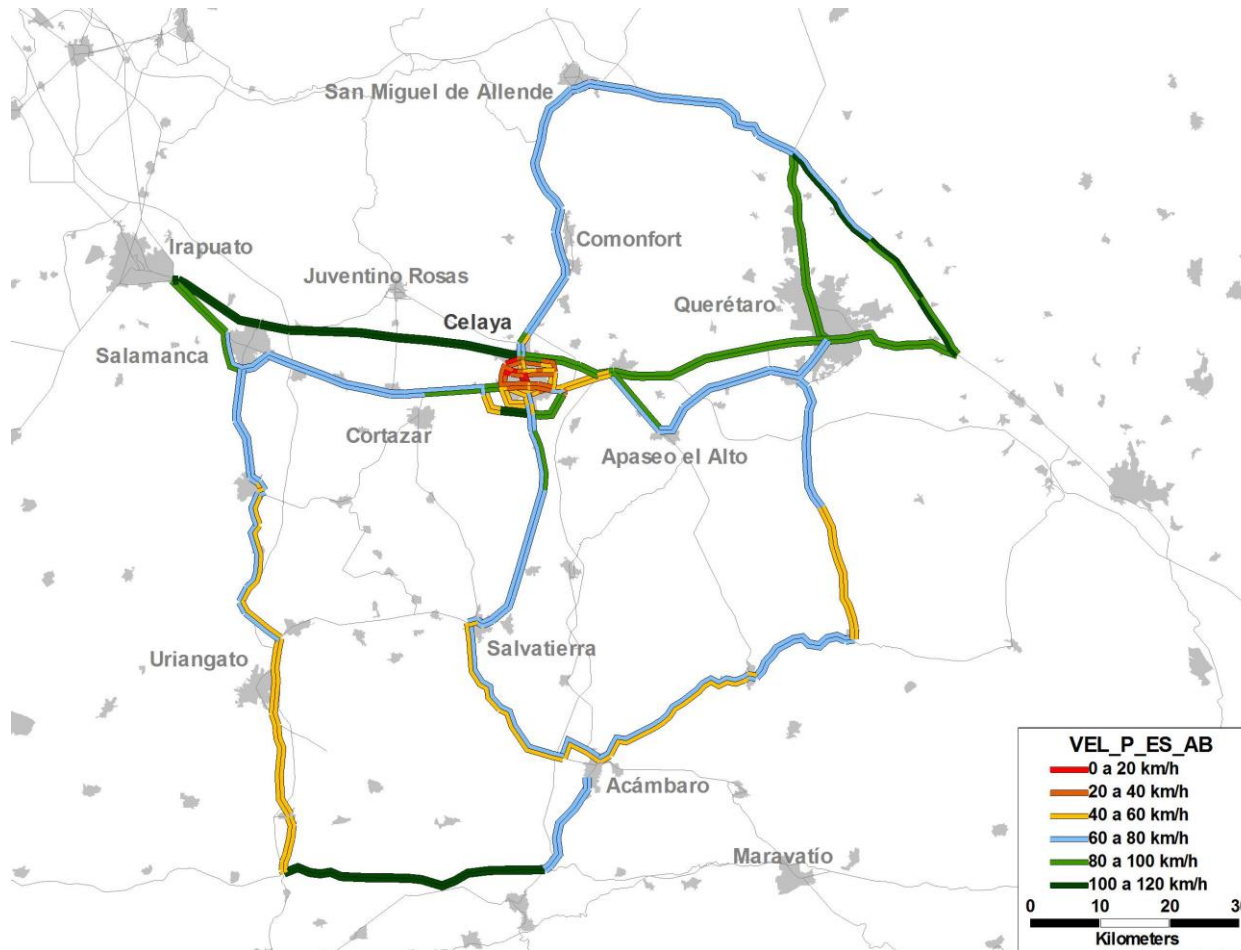
14.8 Tiempos de recorrido

Dentro del proyecto Libramiento Nororiente de Celaya se realizaron recorridos para medir la velocidad en las vialidades más importantes dentro del área de influencia, en la **Figura 31** se observan los tiempos realizados en las vialidades regionales que están directamente relacionadas con el proyecto, en el periodo “pico” entre semana en ambos sentidos.

La **Figura 31** muestra el mapa temático de velocidades, en el cual se distingue con un color cada rango de velocidad, en este caso se definieron rangos cada 20 km/h, de esta forma se logran identificar la velocidad de recorrido en cada tramo y vialidad, por sentido de circulación.

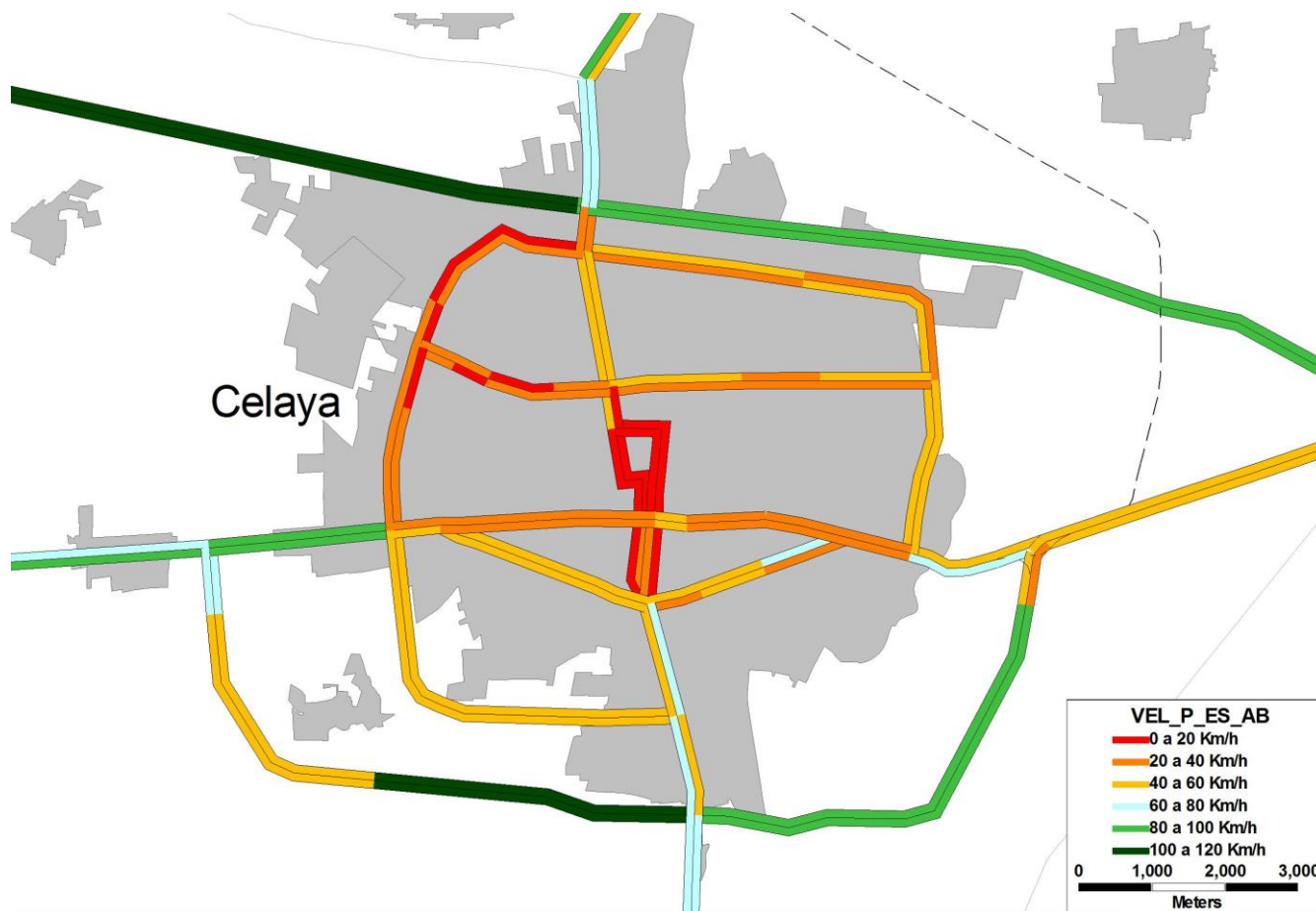
De igual manera se realizaron recorridos para determinar la velocidad dentro del área urbana de Celaya, en la **Figura 32** se presentan los tiempos de recorrido para la zona urbana de Celaya en el periodo “pico”, entre semana y en ambos sentidos, con los mismos colores y rangos para su identificación.

Figura 31. Mapa de tiempos de recorrido regionales



Fuente: Elaboración propia con base en datos del proyecto Libramiento Nororiente de Celaya

Figura 32. Mapa de tiempos de recorrido urbanos



Fuente: Elaboración propia con base en datos del proyecto Libramiento Nororiente de Celaya

14.9 Análisis de la demanda

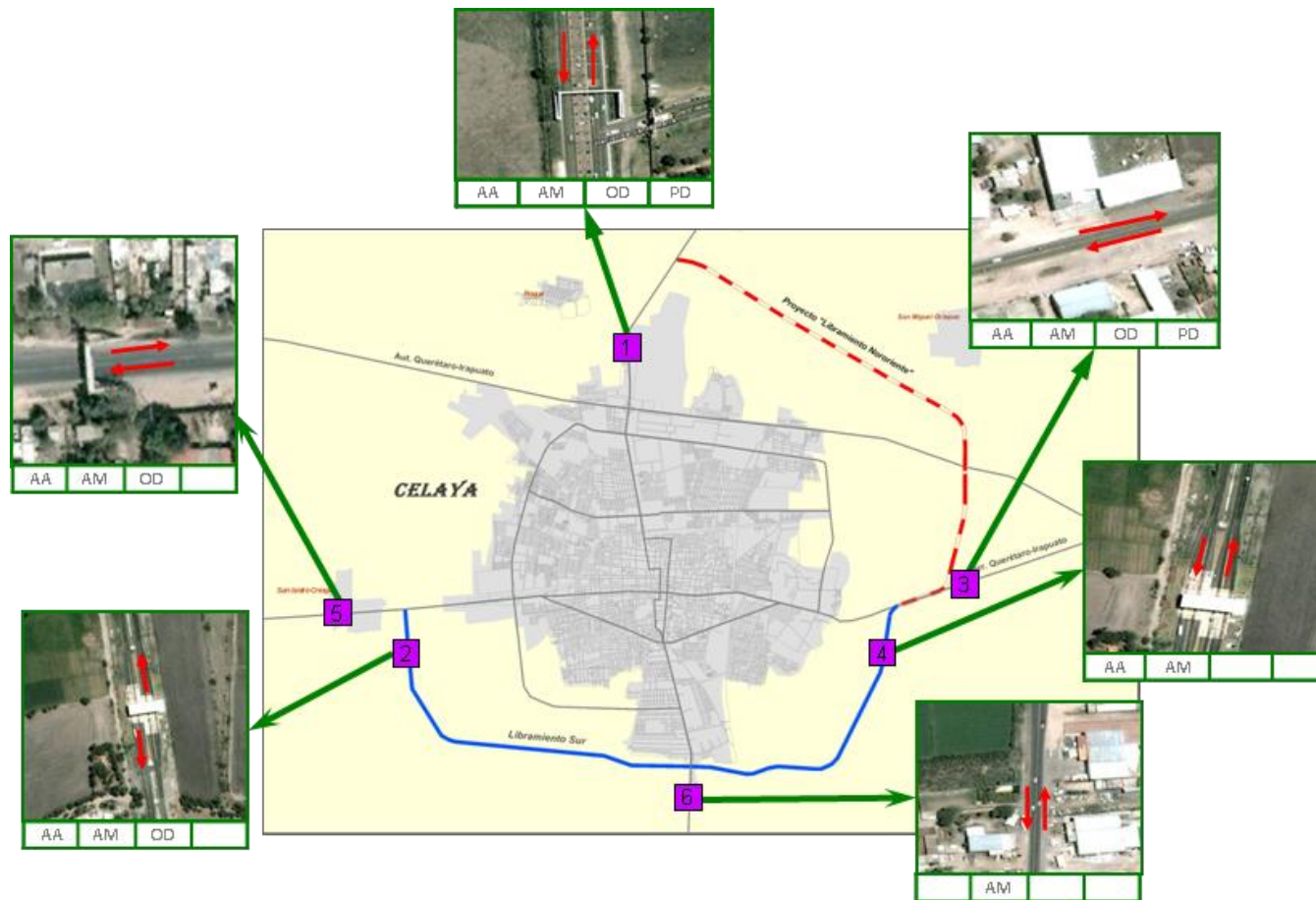
El análisis de la demanda actual de usuarios que transitan por las vialidades a analizar, así como su respectiva caracterización, es necesario contar con datos actuales que permitan identificar claramente el comportamiento de los flujos vehiculares que transitan por la zona, los principales insumos para recabar estos datos es mediante estudios de conteo de aforos vehiculares y un estudio de origen destino a través de encuestas.

14.10 Trabajos de campo

Dentro del proyecto se realizaron estudios de aforos vehiculares de tipo manual y automático, encuestas de origen-destino y de preferencia declarada, para el caso de este análisis solo se interpretaran los datos referentes a los aforos manuales y las encuestas origen-destino.

La **Figura 33** muestra la ubicación de los estudios de campo, así como el tipo de estudio realizado.

Figura 33.Ubicación de trabajos de campo



Fuente: Elaboración propia con base en datos del proyecto Libramiento Nororiente de Celaya

Los estudios fueron ubicados sobre las entradas y salidas de la ciudad de Celaya, ya que la mayoría de los movimientos vehiculares transitan por estas vías, las estaciones en donde se levantaron las encuestas origen-destino son la Estación 1, nombrada San Miguel y se ubicó en la carretera Celaya-Dolores Hidalgo, la Estación 2, ubicada en el libramiento Sur de Celaya, la Estación 3, llamada Querétaro y se ubicó en la carretera Querétaro-Irapuato y por último la estación 5, corresponde a Salamanca, la cual se ubicó en la carretera Querétaro-Irapuato.

14.11 Aforos vehiculares

Los aforos vehiculares manuales se realizaron en un periodo de 12 horas, entre semana y en fin de semana, a fin de conocer el comportamiento de los volúmenes vehiculares a lo largo del día.

Los resultados arrojados por este estudio se presentan en la **Figura 34**, por cada una de las estaciones donde se realizó el estudio, así como por tipo de vehículos. Dentro de los resultados que se aprecian es que la estación Salamanca es la que registro un mayor número de vehículos, tanto entre semana como en fin de semana con un aforo total de 64,909 vehículos, en segundo lugar se encuentra la estación San Miguel.

Otro dato importante en cuanto al tipo de vehículos identificados, se aprecia que el 83% de los vehículos son automóviles, seguidos por los camiones unitarios con un total de 8% del total de las seis estaciones.

Figura 34.Aforo manual

Estación	Fecha	Automóvil	Autobús	Camión Unitario	Camión Articulado I	Camión Articulado II	Total
San Miguel	FS	17,236	57	173	57	5	17,528
	ES	23,379	369	1,083	244	14	25,089
Crespo	FS	766	27	868	1,061	202	2,924
	ES	729	3	981	1,393	247	3,353
Querétaro	FS	13,568	455	859	785	150	15,817
	ES	18,555	472	2,689	1,705	287	23,708
La Laja	FS	2,265	53	976	1,305	262	4,861
	ES	1,908	23	1,184	1,558	295	4,968
Salamanca	FS	25,491	413	2,616	1,488	245	30,253
	ES	29,405	379	2,922	1,701	249	34,656
Salvatierra	FS	16,312	318	495	131	49	17,305
	ES	18,786	388	1,976	460	84	21,694

Fuente: Elaboración propia con base en datos del proyecto Libramiento Nororiente de Celaya

14.1 Encuestas origen-destino

La información que se obtiene como resultado del análisis de las encuestas origen-destino permite conocer, además del movimiento de los flujos vehiculares, el tipo de usuarios que transitan por las vías de análisis y por consiguiente, los usuarios potenciales que utilizarán el proyecto que se está analizando.

14.2 Caracterización de la demanda

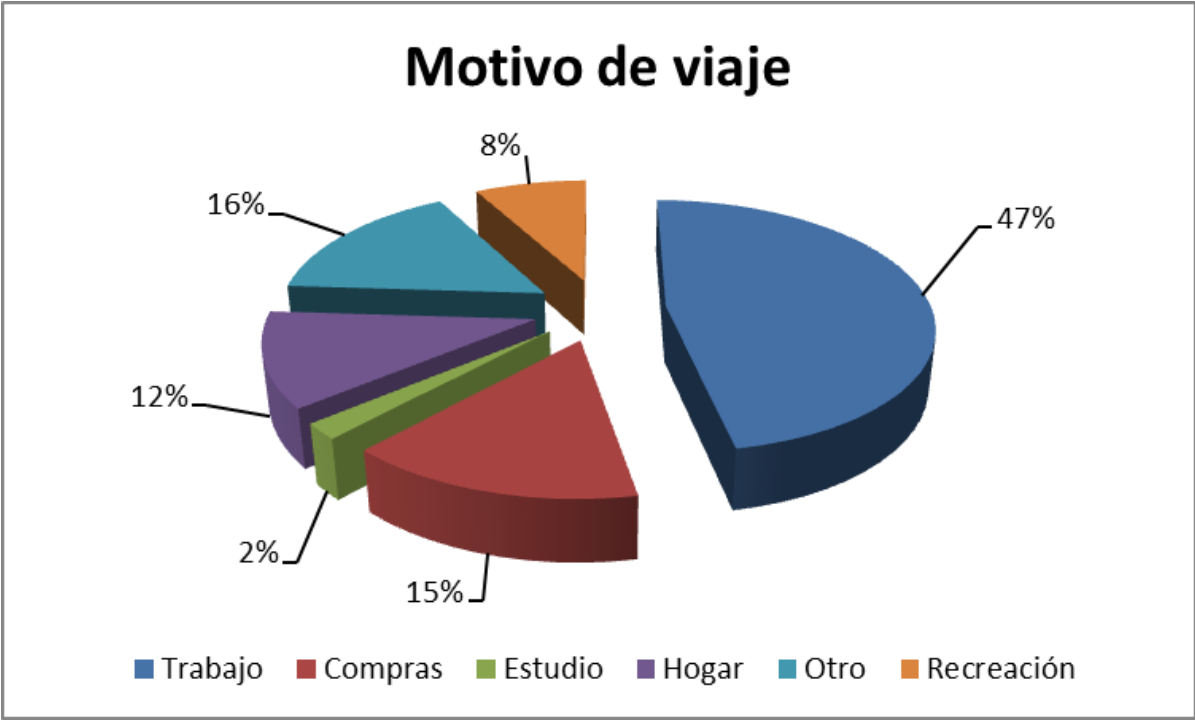
Para realizar el análisis de la demanda para este proyecto se utilizaron los resultados arrojados por la encuesta origen destino, realizada en 4 estaciones, Estación 1 San Miguel, la Estación 2 Celaya, la Estación 3 Querétaro y la Estación 5, Salamanca. Dentro de las características a analizar para realizar la caracterización de la demanda se tomaron en cuenta el motivo de viaje de los usuarios, el nivel de ingresos y la frecuencia con que se realiza el viaje de los usuarios.

14.1 Motivo de viaje

En general, considerando las 4 estaciones en donde se realizaron encuestas origen-destino, así como los dos periodos considerados, entre semana y fin de semana, para los usuarios que viajan en automóvil son que, el

principal motivo de viaje es el trabajo, con un 47% del total de viajes, los siguientes motivos en importancia son, el motivo compras, con 15% y el motivo hogar con 12% del total de respuestas de los usuarios. El porcentaje del total de los motivos se aprecia en la **Figura 35**.

Figura 35.Motivo de viaje

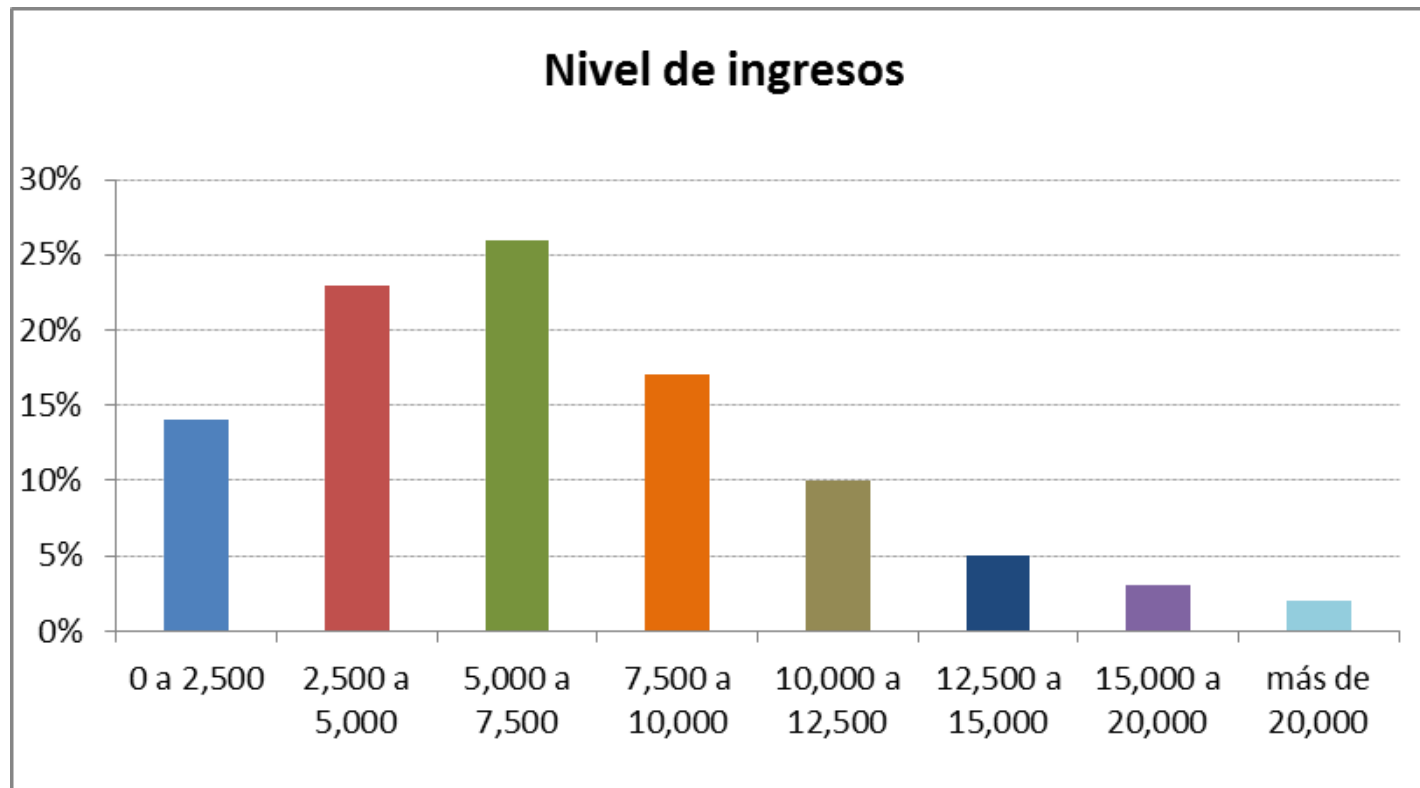


Fuente: Elaboración propia con base en datos del proyecto Libramiento Nororiente de Celaya

14.1 Nivel de ingresos

De igual forma que el motivo de viaje, identificar el nivel de ingresos que se registra dentro de la región de análisis permite conocer el nivel socioeconómico que tienen los usuarios, que serán potenciales a utilizar el proyecto, además, se identificaron los segmentos de usuarios para que, de esta manera, se determine el valor del tiempo de cada usuario tiene. Los resultados encontrados en la caracterización de los usuarios, en general para las 4 estaciones, se encontró que, el 26% de los usuarios cuentan con un ingreso mensual de entre 0 y 2500 pesos, en segundo lugar, es decir, el 23% de los usuarios dijeron ganar entre 2500 y 5000 pesos mensuales, y el 2% de los usuarios tiene un ingreso mayor a 20000 pesos. El total de los resultados se observan en la **Figura 36**.

Figura 36.Nivel de ingresos

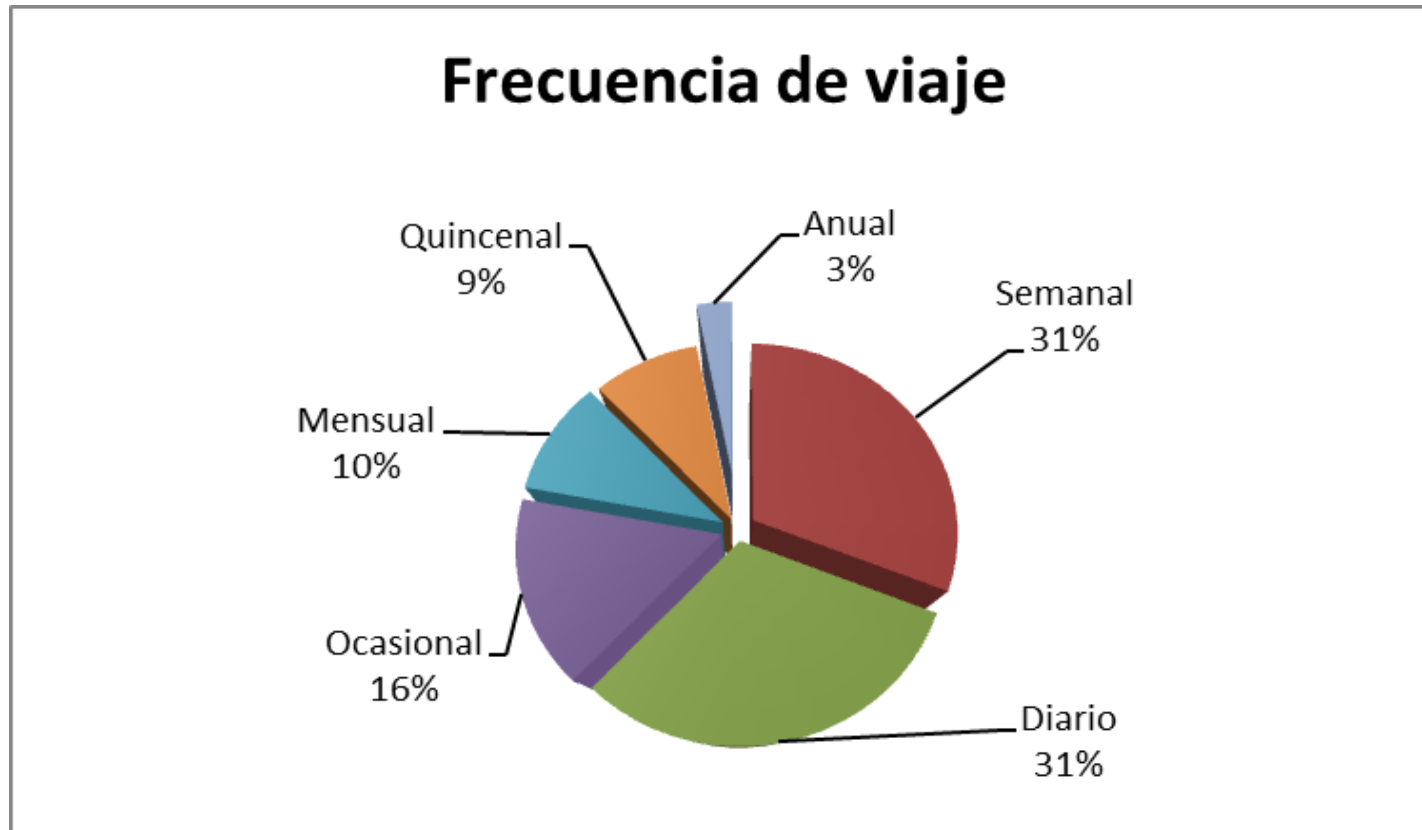


Fuente: Elaboración propia con base en datos del proyecto Libramiento Nororiente de Celaya

14.2 Frecuencia de viaje

La importancia del análisis de la frecuencia de viaje radica en el hecho de que a partir de esta es posible definir la ruta de viaje cada usuario. Analizando los resultados encontrados, se encontró que la frecuencia de viaje semanal y diario son las principales, al tener 31% cada una de ellas, seguida por la frecuencia ocasional con un 16% del total, el total de los porcentajes de las frecuencias de las frecuencias se muestran en la **Figura 37**.

Figura 37. Frecuencia de viaje



Fuente: Elaboración propia con base en datos del proyecto Libramiento Nororiente de Celaya

14.3 Modelo de asignación⁶

De esta manera dentro del proyecto del Libramiento Nororiente de Celaya se realizaron trabajos de campo para recabar dicha información que sirvió de base para el análisis de movilidad en la zona, así como, para alimentar el modelo, dentro de estos estudios se encuentra el referente a los viajes origen-destino, de flujos vehiculares, además de los estudios de preferencia declarada.

Las matrices utilizadas en el modelo de asignación para el proyecto, parten de obtener los pares origen-destino de la encuesta origen-destino, la cual ha sido desestacionalizada y expandida para lograr la representación de un día estándar del año, así como la representatividad de los viajes en todo el año base, estos pares origen-destino, gracias a la expansión de la base, tienen la cantidad de viajes que se realizaron entre cada par de zonas, se encontró que para el año base en la estación “*San Miguel*”, el tipo de vehículo particular, un total de 626 pares de viajes, con 54,787 viajes, los principales pares de viaje se muestran en el Anexo 2.

Para lograr que estos viajes sean reconocidos por el modelo de asignación, es necesario convertir estas datos en una matriz de viajes, que está representada por columnas y filas, que identifican las zonas definidas para el modelo, y en la parte central los viajes realizados entre estas zonas, esta matriz se puede observar en la **Figura 38**.

⁶ ORTÚZAR, JUAN DE DIOS (2008) Modelos de transporte, Publican ediciones de la universidad de Cantabria.

Figura 38.Matriz de viajes

	6	7	15	18	20	21	22	27
4	--	--	--	--	--	--	--	--
6	--	--	--	--	--	--	--	--
7	--	--	--	--	--	--	--	--
9	--	--	--	--	--	--	--	--
10	--	--	--	--	--	--	--	--
15	--	--	--	--	--	--	--	--
18	17.59	--	--	--	--	--	--	--
20	--	--	--	--	--	--	--	--
21	--	--	--	--	--	--	--	--
22	--	--	--	--	--	--	--	--
23	17.59	--	--	--	--	--	--	--
24	--	--	--	--	--	--	--	--
25	--	--	--	--	--	--	--	--
26	--	--	--	--	--	--	--	--
27	--	--	--	--	--	--	--	--
28	--	--	--	--	--	--	--	--
31	--	--	--	--	--	--	--	--
33	--	--	--	--	--	--	--	--
34	--	--	--	--	--	--	--	--
39	--	--	--	--	--	--	--	--
40	--	--	--	--	--	--	--	--
41	--	48.38	--	46.75	25.00	--	--	48.38
42	--	--	--	25.00	--	--	--	--
43	--	--	23.37	--	--	23.37	--	--
44	--	--	--	--	--	--	--	--
45	--	--	--	--	--	--	--	--
47	--	--	--	--	--	--	--	--
48	--	--	--	--	--	--	--	--

Fuente: Elaboración propia con base en datos del proyecto Libramiento Nororiente de Celaya

Las acciones anteriormente descritas se muestran en la **Figura 39** y **Figura 40**.

Figura 39. Asignación de tráfico

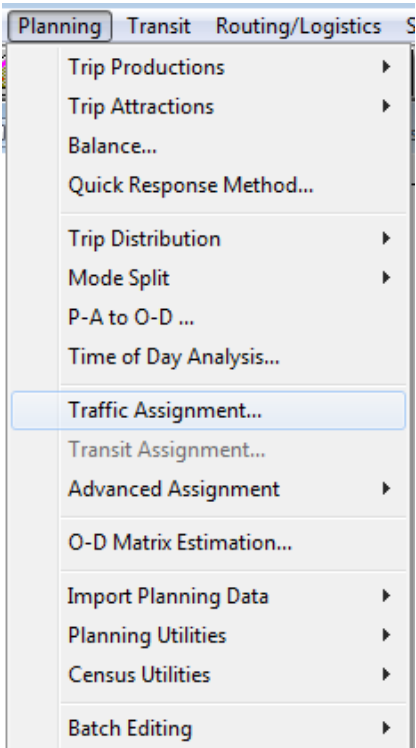
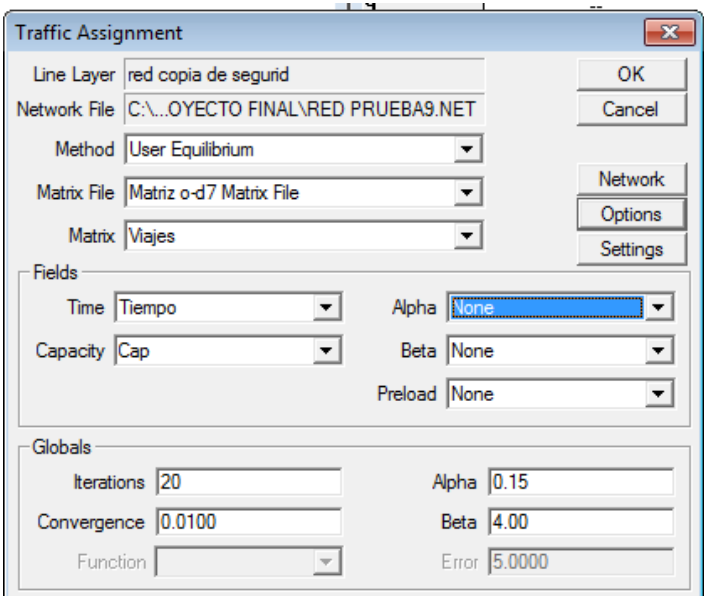


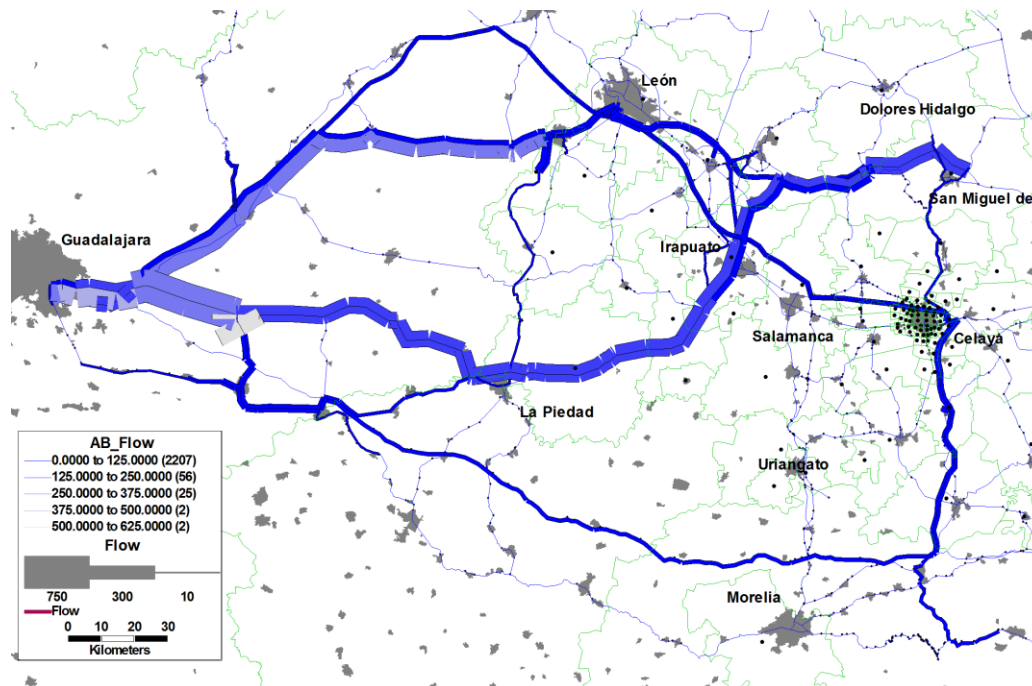
Figura 40. Campos del modelo de asignación



Fuente: Elaboración propia con base en datos del proyecto Libramiento Nororiente de Celaya

iteraciones, el resultado obtenido al aplicar el modelo de asignación basado en equilibrio del usuario se muestra en la **Figura 41**, el resultado muestra los flujos que se obtuvieron en los enlaces, tomando en cuenta que se elaboró la matriz de viajes para la estación uno “*San Miguel*”, para el tipo de vehículo particular.

Figura 41.Flujos resultado del modelos de asignación



Fuente: Elaboración propia con base en datos del proyecto Libramiento Nororiente de Celaya

16. Conclusión

Los lineamientos propuestos para realizar la construcción de una red vial, no propone el simple conocimiento de los aspectos técnicos involucrados en el proceso, sino que, se define la técnica de obtención de información para lograr el mayor aprovechamiento de los recursos disponibles, para llevar a cabo estudios de demanda y modelación.

Para el caso utilizado, el proyecto *Libramiento Nororiente de Celaya, Gto.*, se aplicó la técnica para disminuir los principales errores que se tienen en la construcción de la red vial, la construcción de la zonificación, así como al realizar los trabajos de campo.

La conclusión directa de los lineamientos propuestos consiste, en la verificación de que la red vial fue construida de forma adecuada, mediante la corrida del modelo de asignación, en donde se aprecian los flujos distribuidos a través de la red vial, tomando en consideración las zonas construidas para la distribución de los viajes.

Aunque cada estudio que se tenga que realizar depende de diferentes factores, estos lineamientos consideran los aspectos que todos los estudios de este tipo deben llevar a cabo.

17. Bibliografía

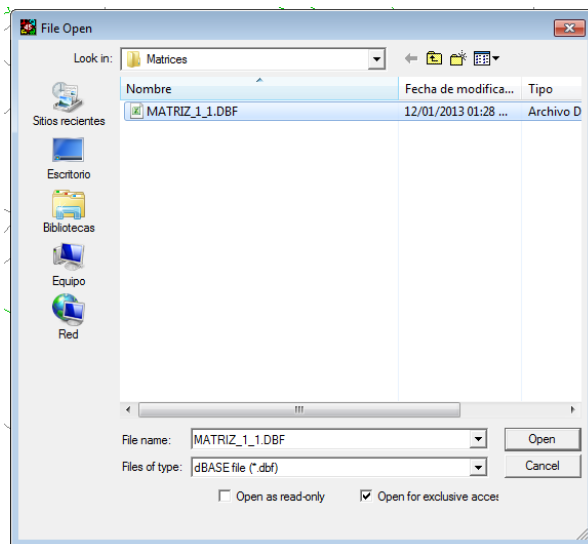
- 1.- KUTS, MYER (2004) Hand book of transportation engineering, Mc Graw Hill.
- 2.- HERNANDEZ SAMPERÌ, ROBERTO (2010) Metodología de la investigación, Mc Graw Hill.
- 3.- TAHA, HAMDY A. (2004) Investigación de operaciones, Pearson educación de México, S.A. de C.V.
- 4.- ORTÚZAR, JUAN DE DIOS (2008) Modelos de transporte, Publican ediciones de la universidad de Cantabria.
- 5.- MÁRQUES DÍAS, JUAN MANUEL (2007) Modelación de la demanda con TransCAD, Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia.
- 6.- Recomendaciones de actualización de algunos elementos del proyecto geométrico de carreteras de cuota, Publicación técnica No. 244, Sanfandila, Qro. (2004) Instituto Mexicano del transporte (IMT).
- 7.- CAL Y MAYOR, RAFAEL (2007) Ingeniería de Tránsito, Alfaomega.
- 8.- MOLINERO, ÁNGEL (2005) Transporte público, Universidad Autónoma del Estado de México.
- 9.-Caliper Corporation (1998). Transcad-Transportation GIS Software. Travel Demand Modeling whit Transcad 3.1. Caliper Corporation, Newton.
- 10.- Y. SHEFFI (1985), Urban Transportation Networks. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- 11.- PAPACOSTAS, C.S. (1987) Fundamentals of Transportation Engineering, Prentice Hall.
- 12.-Manual de usuario de "ArcView 3.2 GIS", Enviromental Systems Research Institute, Inc, (1996)
- 13.-Modelación de demanda para carreteras de cuota (2006), SCT
- 14.-HAIDER, MURTAZA (2009),Traffic Assignment Models

- 15.-HENSHER, DAVID (2007), Transport Modelling, Elsevier Science Ltd.
- 16.-LEE, DER HORNG (2004), Urban and Regional Transportation Modeling, MPG Books.
- 17.-BACA, GABRIEL (2006). Evaluación de Proyectos. (Ed.). México: Mc Graw Hill
- 18.-ISLAS M. VICTOR, RIVERA TRUJILLO CESAR, TORRES VARGAS GUILLERMO (2002). Estudio de la demanda de transporte, Sanfandila, Qro. Instituto Mexicano del Transporte. Publicación Técnica No. 213.
- 19.-Ahuja, R., Magnanti, T. & Orlin, J. (1993) "Network Flows". Ed. Prentice Hall

18. Anexos

Anexo 1 Proceso de creación de líneas de deseo

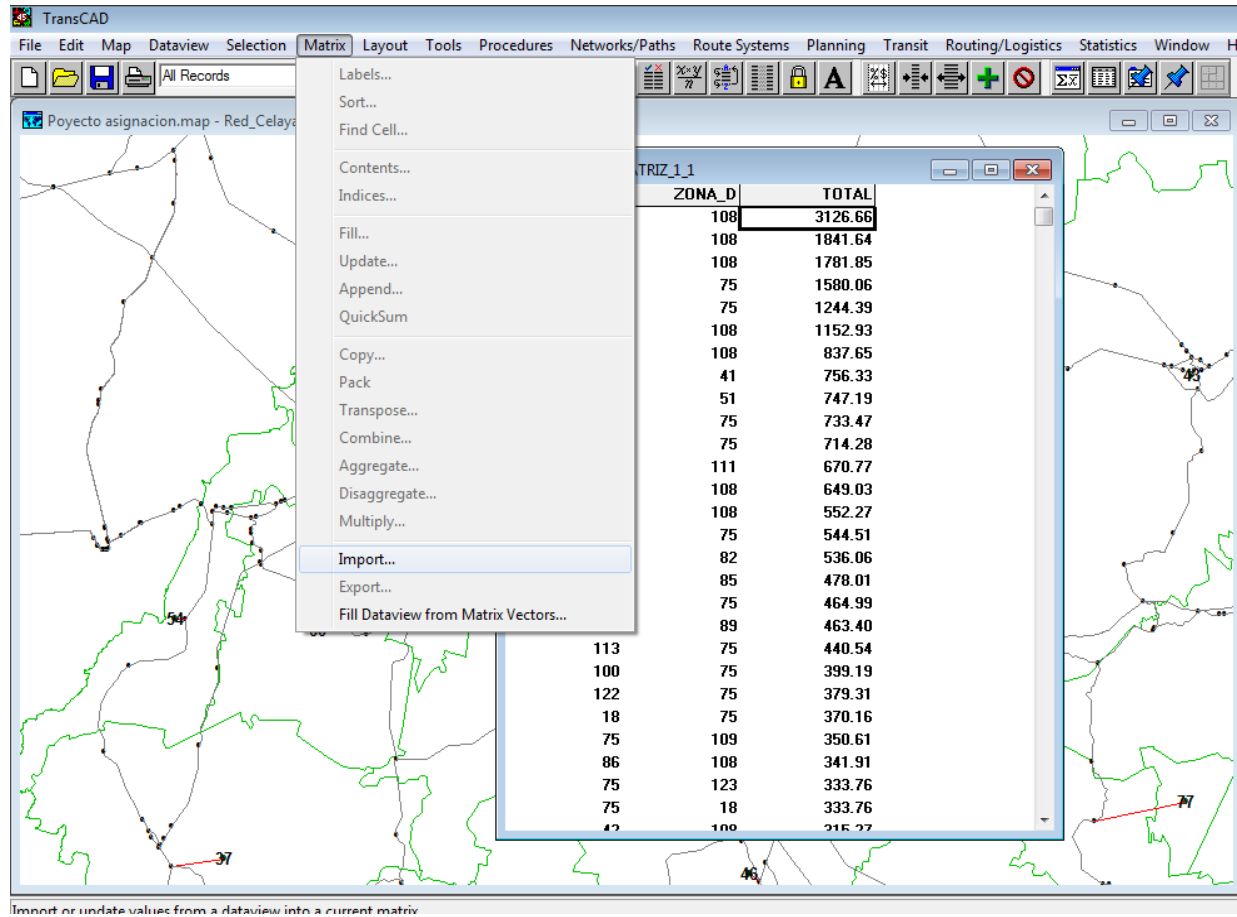
Paso 1. Abrir el archivo en formato .dbf



Paso 2. Visualizar el archivo

ZONA_0	ZONA_D	TOTAL
75	108	3126.66
89	108	1841.64
51	108	1781.85
108	75	1580.06
111	75	1244.39
41	108	1152.93
82	108	837.65
108	41	756.33
108	51	747.19
110	75	733.47
109	75	714.28
75	111	670.77
85	108	649.03
88	108	552.27
133	75	544.51
108	82	536.06

Paso 3. Importar el archivo como una matriz



The screenshot shows the TransCAD interface with the 'Matrix' menu open. The 'Import...' option is highlighted. A matrix window titled 'MATRIZ 1.1' is also visible, displaying a table with two columns: 'ZONA_D' and 'TOTAL'.

ZONA_D	TOTAL
108	3126.66
108	1841.64
108	1781.85
75	1580.06
75	1244.39
108	1152.93
108	837.65
41	756.33
51	747.19
75	733.47
75	714.28
111	670.77
108	649.03
108	552.27
75	544.51
82	536.06
85	478.01
75	464.99
89	463.40
75	440.54
100	399.19
122	379.31
18	370.16
75	350.61
86	341.91
75	333.76
75	333.76
42	315.27

Paso 4. Crear la matriz

The screenshot shows the TransCAD interface with a map titled "Poyecto asignacion.map - Red_Celaya_Final". A "Matrix Import Wizard" dialog box is open, displaying the "Import by" section with "Creating a new matrix file" selected. The "The Dataview Has One Record for Each" section has "Cell, with a field for each matrix" selected. The "Next>" button is highlighted.

The "Matrix Import Wizard" dialog box also displays a table of data:

ZONA_0	ZONA_D	TOTAL
75	108	3126.66
89	108	1841.64
51	108	1781.85
100	75	1590.06

Below the wizard, a list of matrix cells is shown:

108	89	463.40
113	75	440.54
100	75	399.19
122	75	379.31
18	75	370.16
75	109	350.61
86	108	341.91
75	123	333.76
75	18	333.76
42	100	215.22

The status bar at the bottom indicates "MatrixView: 93 Rows by 79 Columns" and "Network: c:\...ivos proyecto celaya\net\net.net".

Paso 5. Definir origen y destino

The screenshot shows the TransCAD interface with a map titled "Poyecto asignacion.map - Red_Celaya_Final". A "Matrix Import Wizard" dialog is open, displaying a table of origin-destination pairs and their associated costs. The dialog also shows the "Matrix File to Update" section with a text input field.

Matrix Data Table:

ZONA_O	ZONA_D	TOTAL
75	108	3126.66
89	108	1841.64
51	108	1781.85
108	75	1580.06
108	89	463.40
113	75	440.54
100	75	399.19
122	75	379.31
18	75	370.16
75	109	350.61
86	108	341.91
75	123	333.76
75	18	333.76
42	109	215.27

Matrix Import Wizard Settings:

- Dataview to Use:
 - Name: MATRIZ_1_1
 - Selection: All Features
 - Row ID: ZONA_O
 - Column ID: ZONA_D
- Matrix File to Update:
 - Name: [Empty Field]

Buttons: <Back, Next>, Cancel

MatrixView: 93 Rows by 79 Columns | Network: c:_ivos\proyecto_celaya\net\net.net

Paso 6. Seleccionar el total de viajes

The screenshot shows the TransCAD interface with a map of a network and a 'Dataview6 - MATRIZ_1_1' window. The matrix window displays a table with columns ZONA_O, ZONA_D, and TOTAL. A 'Matrix Import Wizard' dialog is open, showing a list of fields with 'TOTAL' selected. The wizard also has options for replacing or summing values into the matrix.

ZONA_O	ZONA_D	TOTAL
75	108	3126.66
89	108	1841.64
51	108	1781.85
108	75	1580.06

Matrix Import Wizard

Create Matrix File Using a Field for Each Matrix

Select All

Options

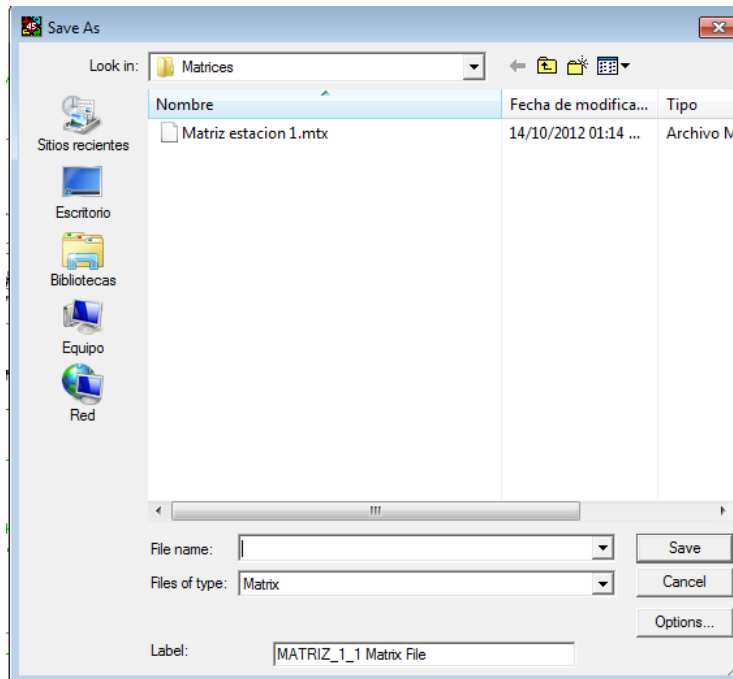
☐ Replace values in matrix ☐ Treat missing values as zero

☒ Sum values into matrix

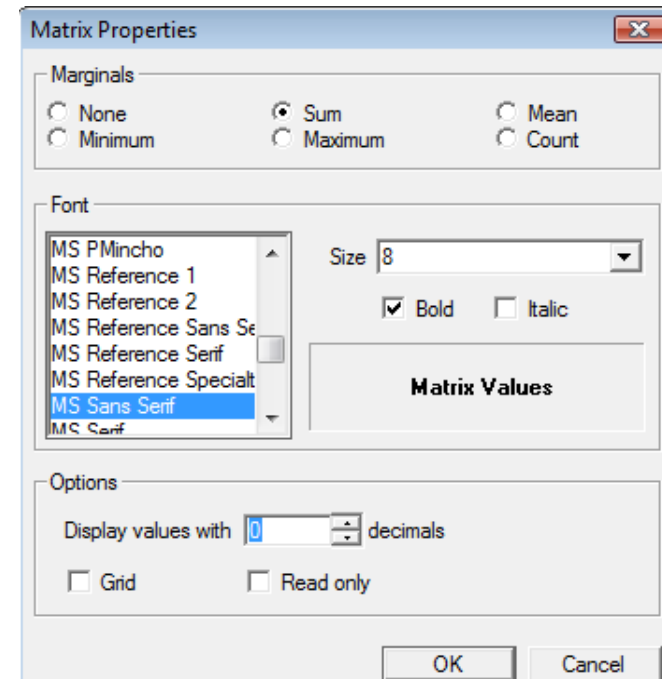
<Back Finish Cancel

108	89	463.40
113	75	440.54
100	75	399.19
122	75	379.31
18	75	370.16
75	109	350.61
86	108	341.91
75	123	333.76
75	18	333.76
42	100	215.27

Paso 7. Guardar la matriz



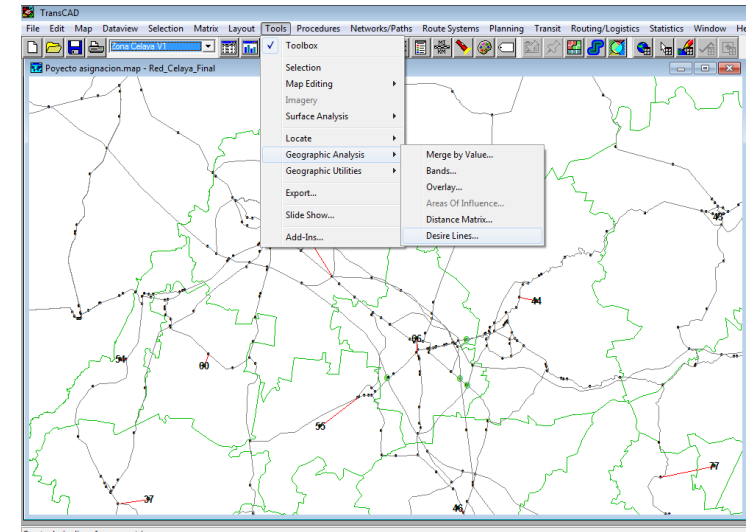
Paso 8. Sumar los viajes de la matriz



Paso 9. Visualizar la matriz

Matrix1 - Matrices estaciones Matrix File (Total)									
	6	7	15	18	20	21	22	27	Sum
4	--	--	--	--	--	--	--	--	25.00
6	--	--	--	--	--	--	--	--	71.75
7	--	--	--	--	--	--	--	--	19.88
9	--	--	--	--	--	--	--	--	17.59
10	--	--	--	--	--	--	--	--	17.59
15	--	--	--	--	--	--	--	--	57.35
18	17.59	--	--	--	--	--	--	--	837.44
20	--	--	--	--	--	--	--	--	251.58
21	--	--	--	--	--	--	--	--	110.14
22	--	--	--	--	--	--	--	--	72.66
23	17.59	--	--	--	--	--	--	--	17.59
24	--	--	--	--	--	--	--	--	17.59
25	--	--	--	--	--	--	--	--	35.19
26	--	--	--	--	--	--	--	--	17.59
27	--	--	--	--	--	--	--	--	35.19
28	--	--	--	--	--	--	--	--	17.59
31	--	--	--	--	--	--	--	--	25.00
33	--	--	--	--	--	--	--	--	196.77
34	--	--	--	--	--	--	--	--	25.00
39	--	--	--	--	--	--	--	--	46.75
40	--	--	--	--	--	--	--	--	48.38
41	--	48.38	--	46.75	25.00	--	--	48.38	2796.16
Sum	143.04	73.38	96.76	719.15	25.00	70.12	48.38	71.75	54787.01

Paso 10. Creación de líneas de deseo



Paso 11. Seleccionar el campo de la zonificación

The image shows a software dialog box titled "Desire Lines" with a close button (X) in the top right corner. It has two tabs: "Settings" (selected) and "Matrix". Under the "Settings" tab, there are two main sections: "New Layer" and "Input Layer". The "New Layer" section has a "Name" field with the text "Critical Desire Lines". The "Input Layer" section has four fields: "Name" (a dropdown menu showing "Zona Celaya V1"), "From" (a dropdown menu showing "All Records"), "To" (a dropdown menu showing "All Records"), and "ID Field" (a dropdown menu showing "Zona Celaya21", which is highlighted with a blue selection box). At the bottom of the dialog are "OK" and "Cancel" buttons.

Desire Lines

Settings | Matrix

New Layer

Name Critical Desire Lines

Input Layer

Name Zona Celaya V1

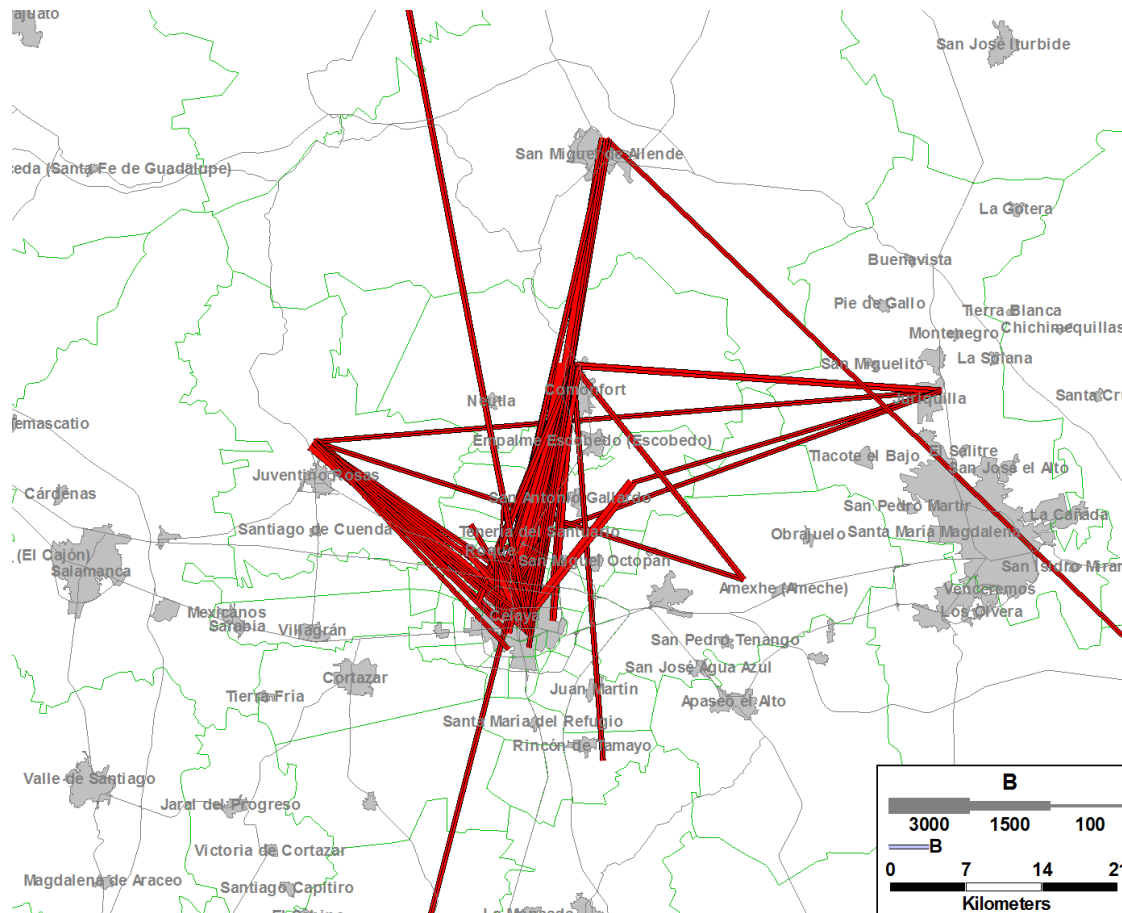
From All Records

To All Records

ID Field Zona Celaya21

OK Cancel

Paso 12. Resultado del proceso.



Anexo 2 principales treinta pares de viajes de la estación 1 en vehículo automóvil

ZONA_O	ZONA_D	TOTAL
75	108	3126.66
89	108	1841.64
51	108	1781.85
108	75	1580.06
111	75	1244.39
41	108	1152.93
82	108	837.65
108	41	756.33
108	51	747.19
110	75	733.47
109	75	714.28
75	111	670.77
85	108	649.03
88	108	552.27
133	75	544.51
108	82	536.06
108	85	478.01
107	75	464.99
108	89	463.40
113	75	440.54
100	75	399.19
122	75	379.31
18	75	370.16
75	109	350.61
86	108	341.91
75	18	333.76
75	123	333.76
42	108	315.27
51	111	313.64
110	41	304.36