

2020 Localización de lectores RFID en una red vial urbana
para la estimación de matrices Origen-Destino

Ing. Miguel Angel Reyna Alonso



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería

Localización de lectores RFID en una red vial urbana para la
estimación de matrices Origen-Destino

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en:

Ingeniería de Vías Terrestres y Movilidad

Presenta

Ing. Miguel Angel Reyna Alonso

Dirigido por:

M.I. Marco Luis Dorado Pineda

Querétaro, Qro. Febrero del 2020



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en Ingeniería de Vías Terrestres y Movilidad

Localización de lectores RFID en una red vial urbana para la
estimación de matrices Origen-Destino

Opción de titulación

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Maestría en Ingeniería

Presenta:

Miguel Angel Reyna Alonso

Dirigido por:

M.I. Marco Luis Dorado Pineda

M.I. Marco Luis Dorado Pineda

Presidente

Dr. Saúl A. Obregón Biosca

Secretario

Dra. María de la Luz Pérez Rea

Vocal

Dr. Ricardo Montoya Zamora

Suplente

M.I. Pedro Apolinar Molina González

Suplente

Centro Universitario

Querétaro, Qro.

Febrero 2020

RESUMEN

En los últimos años, el problema relacionado con el control del tráfico en las grandes ciudades ha ido en aumento, debido al crecimiento exponencial de los vehículos que circulan en su red de vialidades. Este crecimiento en el número de vehículos hace que la información, necesaria para realizar un análisis de tráfico, sea más compleja de obtener. Sin embargo, gracias a la aplicación de tecnologías *VANET*, se han desarrollado diferentes metodologías para obtener información de tráfico pasiva. Estas metodologías han obtenido resultados favorables; por ejemplo, matrices origen-destino, las cuales pueden utilizarse para alimentar los sistemas de transporte inteligentes (ITS, por sus siglas en inglés). Sin embargo, no debe olvidarse que las matrices estimadas deben ser confiables, ya que cualquier análisis de transporte serio debe fundamentarse en matrices de origen-destino de alta calidad. Se ha encontrado gracias a estudios previos que la calidad de una matriz de origen-destino depende principalmente de dos factores; la precisión de los datos de entrada y la ubicación de los puntos donde se recopilan estos datos.

En la presente investigación se propone desarrollar un algoritmo para estimar matrices origen-destino de calidad, considerando la forma urbana y red de infraestructura vial de una ciudad media. Para validar el funcionamiento del algoritmo, se realizan experimentaciones dentro de un *software* de simulación. Estos *softwares* presentan la ventaja de experimentar en entornos controlados y verificar la funcionalidad de propuestas de varios tipos, sin utilizar recursos de forma innecesaria.

(Palabras clave: control de tráfico; *VANET*; matriz origen-destino; ITS, simulación)

RESUMEN

En los últimos años, el problema relacionado con el control del tráfico en las grandes ciudades ha ido en aumento, debido al crecimiento exponencial de los vehículos que circulan en su red de vialidades. Este crecimiento en el número de vehículos hace que la información, necesaria para realizar un análisis de tráfico, sea más compleja de obtener. Sin embargo, gracias a la aplicación de tecnologías *VANET*, se han desarrollado diferentes metodologías para obtener información de tráfico pasiva. Estas metodologías han obtenido resultados favorables; por ejemplo, matrices origen-destino, las cuales pueden utilizarse para alimentar los sistemas de transporte inteligentes (ITS, por sus siglas en inglés). Sin embargo, no debe olvidarse que las matrices estimadas deben ser confiables, ya que cualquier análisis de transporte serio debe fundamentarse en matrices de origen-destino de alta calidad. Se ha encontrado gracias a estudios previos que la calidad de una matriz de origen-destino depende principalmente de dos factores; la precisión de los datos de entrada y la ubicación de los puntos donde se recopilan estos datos.

En la presente investigación se propone desarrollar un algoritmo para estimar matrices origen-destino de calidad, considerando la forma urbana y red de infraestructura vial de una ciudad media. Para validar el funcionamiento del algoritmo, se realizan experimentaciones dentro de un *software* de simulación. Estos *softwares* presentan la ventaja de experimentar en entornos controlados y verificar la funcionalidad de propuestas de varios tipos, sin utilizar recursos de forma innecesaria.

(Palabras clave: control de tráfico; *VANET*; matriz origen-destino; ITS, simulación)

ABSTRACT

In recent years the problem related to traffic control in large cities has been increasing, due to the exponential growth of vehicular vehicles that circulate in its road network. The growth in the number of vehicles has generated that the information, necessary to perform a traffic analysis, be complex to obtain and process. However, due to the application of VANET technologies, different methodologies have been developed to obtain passive traffic information. These methodologies have obtained favorable results; e.g, origin-destination matrices, these can be used to feed the Intelligent Transport Systems (ITS). But it must not be forgotten that the estimated matrices must be reliable, since any serious transport analysis must be based on high quality origin-destination matrices. It has been found thanks to previous studies that the quality of an origin-destination matrix depends mainly on two factors; the precision of the input data and the location of the points where these data are collected, being the last one sometimes forgotten.

This investigation proposed to develop an algorithm to estimate high quality origin-destination matrix; considering the road infrastructure network of an average city. To validate the algorithm, experiments are performed in a simulation software. This software have the advantage of experimenting in controlled environments and verifying the functionality of proposals of various types, without using resources unnecessarily.

(Key words: traffic management; VANET; origin-destination matrix; ITS; simulation)

DEDICATORIA

A mi familia, amigos y a todos aquellos seres queridos
que siempre estuvieron a mi lado y me apoyaron
incondicionalmente a lo largo de la maestría.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi familia, por siempre estar apoyándome incondicionalmente, incluso en aquellos momentos difíciles.

A mi director de tesis el maestro Marco Luis Dorado Pineda, quien me guio durante la elaboración de esta investigación, sus valiosos consejos me permitieron avanzar por el camino correcto. Al maestro Pedro Apolinar Molina González, quien me ayudo especialmente en las etapas finales de este proyecto, sin sus conocimientos el desarrollo del algoritmo hubiese sido demasiado tardado. Al Dr. Saúl Antonio Obregón Biosca por brindarme su apoyo a lo largo de la maestría y durante la elaboración de esta tesis. Al Dr. Ricardo Montoya Zamora y a la Dra. María de la Luz Pérez Rea, por los consejos brindados, que permitieron hacer de esta tesis un mejor trabajo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y la Universidad Autónoma de Querétaro, quienes me otorgaron los recursos económicos necesarios durante la maestría, sin este apoyo, la elaboración de esta tesis no hubiese sido posible.

TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3 HIPÓTESIS Y OBJETIVO.....	4
1.3.1 Hipótesis.....	4
1.3.2 Objetivo.....	4
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 EL FENÓMENO DEL TRÁFICO.....	5
2.2 ESTIMACIÓN DE MATRICES ORIGEN-DESTINO (O-D).....	6
2.3 COMUNICACIÓN MEDIANTE VANET.....	9
2.4 LOCALIZACIÓN ÓPTIMA PARA ESTACIONES DE CONTEO VEHICULAR.....	14
2.5 SIMULADORES COMPUTACIONALES DE TRÁFICO.....	16
2.5.1 AIMSUN.....	17
2.6 PROGRAMACIÓN EN AIMSUN.....	18
2.6.1 Programación de una API's.....	19
3. METODOLOGÍA.....	21
3.1 SELECCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	21
3.2 DISEÑO DEL MODELO PARA MICROSIMULACIÓN.....	26
3.3 DATOS DE ENTRADA PARA MICROSIMULACIÓN.....	33
3.3.1 Geometría de la vialidad.....	34
3.3.2 Datos de control de tráfico.....	35
3.3.3 Datos de demanda.....	40
3.3.4 Especificaciones técnicas de vehículos.....	42
3.4 SIMULACIÓN MICROSCÓPICA DE LA RED.....	44
3.5 VALIDACIÓN DEL MODELO DE MICROSIMULACIÓN.....	45
3.6 ALGORITMO PARA ESTIMAR ORÍGENES-DESTINOS.....	45
3.6.1 Primera rutina.....	46
3.6.2 Segunda rutina.....	51

3.6.3	Tercera rutina.....	52
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	54
4.1	RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN MICROSCÓPICA DE LA RED.....	54
4.2	RESULTADOS DE LA VALIDACIÓN DEL MODELO DE MICROSIMULACIÓN.....	57
4.2.1	Cálculo de GEH.....	57
4.2.2	Modelo de regresión.....	59
4.3	RESULTADOS DE LA PRIMERA RUTINA DEL ALGORITMO.....	60
4.4	RESULTADO DE SEGUNDA RUTINA DEL ALGORITMO.....	63
4.5	RESULTADOS DE LA TERCERA RUTINA DEL ALGORITMO.....	71
5.	CONCLUSIONES.....	75
5.1	LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURA.....	76
6.	REFERENCIAS.....	78
7.	APÉNDICE.....	85
7.1	OFICIO DE SOLICITUD DE INFORMACIÓN DE SEMÁFOROS.....	85
7.2	RESULTADOS DE CONVERTIR LA INFORMACIÓN SEMAFÓRICA.....	86
7.3	CÓDIGO FUENTE PARA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DE VEHÍCULOS SIMULADOS.....	99
7.4	PARES ORIGEN-DESTINO GENERADO CON LA RUTINA.....	147
7.5	CÓDIGO FUENTE PARA GENERACIÓN DE PARES O-D, VINCULACIÓN DE SENSORES Y CENTROIDES, Y ESTIMACIÓN DE MATRIZ O-D.....	153
7.6	RESULTADOS COMPLETOS DE LA VICNUALCIÓN ENTRE SENSOR Y CENTORIDE	156
7.7	DATOS DE VIAJES GENERADOS Y ATRAÍDOS DE LA MATRIZ O-D ORIGINAL Y ESTIMADA.....	171
7.8	COORDENADAS E ID'S DE LOS SENSORES OPTIMIZADOS.....	174

INDICE DE FIGURAS

Figura 2-1. Estructura general de una matriz de viajes bidireccional.....	6
Figura 2-2. Funcionamiento de las VANET's	10
Figura 2-3. Distribución de sensores Bluetooth con enfoque primario a estimación O-D	12
Figura 2-4. Esquema del funcionamiento de un control externo en AIMSUN.....	19
Figura 3-1. Diagrama de metodología.	21
Figura 3-2. Zona Metropolitana de Querétaro.....	22
Figura 3-3. Líneas de deseo en auto (ZMQ) mayor a 10 viajes.....	23
Figura 3-4. Líneas de deseo para viajes totales en la ZCQ.....	24
Figura 3-5. Zona de Estudio para experimentación	25
Figura 3-6. Red de carreteras y vialidades urbanas de Querétaro.	27
Figura 3-7. Red vial depurada.....	29
Figura 3-8. Topología de la red.....	30
Figura 3-9. Importación del grafo a AIMSUN	31
Figura 3-10. Red vial de estudio dentro de AIMSUN	32
Figura 3-11. Verificación de adyacencias del nodo 843.....	33
Figura 3-12. Información contenida en datos vectoriales.....	35
Figura 3-13. Intersecciones Semaforzadas.....	38
Figura 3-14. Ejemplo de conversión de tabla a gráfico, intersección Sombrero - Playa Roqueta.	39
Figura 3-15. Extracto de la matriz O-D de la ZCQ.	40
Figura 3-16. Extracto de la matriz O-D, generada para la zona de estudio.	41
Figura 3-17. Carga de demanda de tráfico mediante centroides.	42
Figura 3-18. Proceso base para simulación.....	44
Figura 3-19. Diagrama de proceso del algoritmo.....	45

Figura 3-20. Diagrama de interacción entre AIMSUN y API.	46
Figura 3-21. Esquema de área de captación del sensor.....	47
Figura 3-22. Centro de arcos, posible ubicación de sensor.....	48
Figura 3-23. Ubicaciones de sensores RFID simulados.	49
Figura 3-24. Proceso de optimización.....	53
Figura 4-1. Flujos de vehículos simulados con el método estocástico de asignación.	56
Figura 4-2. Dispersión de flujo vehicular.....	59
Figura 4-3. Vehículos detectados, 10 sensores.....	62
Figura 4-4. Cobertura total de la red por el área de captación de los sensores.....	64
Figura 4-5. Matriz O-D estimada, mediante pares O-D.....	65
Figura 4-6. Ruta del vehículo 1638.....	66
Figura 4-7. Resultado del modelo de regresión aplicado a los viajes generados. .	69
Figura 4-8. Resultado del modelo de regresión aplicado a los viajes atraídos.	70
Figura 4-9. Sensores optimizados.....	72
Figura 4-10. Relación entre sensores instalados y porcentaje de cobertura.	74

INDICE DE TABLAS

Tabla 3-1. Datos de los modelos de vehículos que transitaran en el modelo	28
Tabla 3-2. Intersecciones semaforizadas en la zona de estudio	36
Tabla 3-3. Datos de los modelos de vehículos que transitaran en el modelo	43
Tabla 3-4. Datos de los modelos de vehículos que transitaran en el modelo	43
Tabla 4-1. Resultados de la simulación para el modelo de asignación.....	55
Tabla 4-2. Resultados del cálculo de GEH	58
Tabla 4-3. Extracto de la base de datos obtenida con la rutina API.....	61
Tabla 4-4. Extracto de los pares O-D generados con la rutina.	63
Tabla 4-5. Extracto de la vinculación entre sensores y centroides.	67
Tabla 4-6. Extracto de valores para comparación de matrices.	68
Tabla 4-7. Coordenada UTM e <i>ID</i> de los sensores.....	73

1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento socio-económico en ciudades ha generado un incesante incremento en la demanda de los desplazamientos que se realizan dentro de la ciudad y en sus ámbitos metropolitanos; el cual según Verastegui (2011) ha generado a su vez el aumento en la utilización de los vehículos. En este sentido, Djukic (2014) considera que dicho incremento en la flota vehicular ha originado un aumento en la complejidad del tráfico y en los patrones de viaje. Para comprender dicha complejidad se emplean herramientas como los Sistemas de Transporte Inteligentes (ITS), los cuales tienen la capacidad de estimar los estados de la red y predecir su Evolución a Corto Plazo (REF). Estos sistemas necesitan ser alimentados constantemente con información del comportamiento de la red vial.

En ese sentido, Calabrese *et al.* (2011), Munizaga y Palma (2012), y Zhou y Mahmassani (2014) coinciden en que la fuente más importante de información para la planeación y gestión de redes de transporte son las matrices Origen-Destino (O-D). Hagen *et al.* (2006) exponen que los métodos tradicionales para la estimación de matrices O-D, como son las encuestas en hogares, presenta una problemática; la cual es, que los tiempos desde la recolección de datos hasta la explotación de los primeros resultados suelen ser muy largos. Por lo anterior, recientemente se han desarrollado metodologías para la estimación de matrices O-D en “tiempo real” que facilita su aplicación en sistemas ITS.

Para Antoniou *et al.* (2004) estas nuevas metodologías para estimaciones de matrices O-D en “tiempo real” tienen su base en la incorporación de Redes Vehiculares Ad-hoc (VANET, por siglas en ingles). Las VANET se basan en la detección e identificación de vehículos individuales en varios lugares a medida que atraviesan la red, siempre y cuando haya coincidencia de detecciones posteriores. Dicha detección se realiza mediante GPS, *Bluetooth*, Wi-Fi, redes celulares o RFID. Por su parte, Van Der Zijpp (2014) señala que las tecnologías VANET, las cuales están siendo desarrolladas e implementadas permitirán aumentar la facilidad de adquirir y analizar grandes volúmenes de datos detallados del flujo de vehículos, la

cual será una fuente primordial de información para la estimación dinámica de matrices O-D.

Barceló *et al.* (2010) por ejemplo, realizaron estudios en estimaciones dinámicas de matrices O-D basado en el Monitoreo Bluetooth de Tráfico. En cambio, Mellegård *et al.* (2011) reportaron en su investigación que, la estimación de matrices O-D mediante el análisis de Datos de la Red Celular. Sin embargo, ambas investigaciones concuerdan en que existen dos aspectos de importancia en la estimación dinámica de una matriz O-D. El primero, es la privacidad de la información obtenida, ya que mal uso de ella puede causar muchos problemas. Y el segundo es la precisión de la matriz O-D, puesto que si una matriz O-D no es precisa los resultados del análisis de esta no son útiles.

La precisión de una matriz O-D, depende de la localización de los puntos donde se capta la información, lo cual influye directamente con la confiabilidad de los datos obtenidos (Lam y Lo, 1990; Ma *et al.*, 2006; Chiou *et al.*, 2012; Khlifefat y Shatnawi, 2017). En ese contexto, Eisenman *et al.* (2006) y Fei *et al.* (2007), exponen la necesidad de desplegar óptimamente los sensores, para maximizar los recursos económicos y humanos, sin disminuir la confiabilidad de los datos obtenidos.

1.1 Descripción del problema

La movilidad en las ciudades contribuye a su desarrollo y fortalecimiento, al crear un sistema que busca mejorar las condiciones para la ejecución de las actividades productivas de la población, por lo anterior es necesario que exista un control de tráfico correcto que permita tener una planeación y operación lo suficientemente estables para que dicho sistema opere sin problemas.

Sin embargo, en la actualidad dado al crecimiento de las ciudades, se ha vuelto más complicado lograr dicho control. Es por ello que la necesidad de aplicar nuevas tecnologías al control y análisis del tráfico es vital; un ejemplo de éstas son

los Sistemas de Transporte Inteligentes (ITS), los cuales permiten tener control en tiempo real del tránsito. No obstante, este tipo de sistemas inteligentes necesitan de información a tiempo real del comportamiento vehicular; esta información proviene principalmente de las matrices O-D dinámicas. Noori & Valkama (2013) y Derder & Moussaoui (2014) coinciden en que la estimación de matrices dinámicas es posible con la aplicación de una VANET. Sin embargo, la instalación y mantenimiento de los sensores necesarios para implementar un VANET puede llegar a ser costoso, lo que impone una barrera para su aplicación.

1.2 Justificación

Como señalan Antoniou *et al.* (2004) y Van Der Zijpp (2014), las matrices Origen-Destino (O-D) dinámicas son una valiosa fuente de información para la implementación de un Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS). Este tipo de matrices son generadas mediante la aplicación de tecnologías de la información, tales como una Red Vehicular Ad-hoc (VANET), que permitan la recopilación pasiva de datos. No obstante, la aplicación de dichas tecnologías puede llegar a ser muy costosa (Khelifat y Shatnawi, 2017). Por lo que se ha buscado desarrollar metodologías que maximicen la captación de datos y minimicen el consumo de recursos; permitiendo estimar matrices O-D confiables que alimenten a los ITS (Guang-ying *et al.*, 2006; Eisenman *et al.*, 2006; Chen *et al.*, 2007; y Chiou *et al.*, 2012).

El presente trabajo tiene como objetivo el desarrollo de un algoritmo iterativo, que determine la ubicación más apropiada para la instalación de los sensores (dispositivos) que forman parte de una VANET. Este algoritmo se comprueba dentro del *software* de simulación de tráfico, AIMSUN. Este *software* permite realizar experimentos en entornos controlados que modelen una red vehicular urbana.

1.3 Hipótesis y Objetivo

1.3.1 Hipótesis

El considerar para una ciudad media su red de infraestructura vial en un algoritmo que determine la ubicación de lectores RFID, captará un 80% de orígenes-destinos, en un entorno controlado.

1.3.2 Objetivo

Desarrollar un algoritmo dentro de un software de simulación, que permita determinar las ubicaciones de lectores de RFID y estimar una matriz origen-destino, que cumpla con al menos 80% de los origen-destino.

2. MARCO TEÓRICO

A continuación, se presenta una breve explicación de las distintas metodologías de estimación de matrices O-D, se describen los factores que intervienen en las mismas, y se analizan los enfoques de diversos autores sobre el tema. También se revisa en la literatura existente lo relacionado a localización óptima de estaciones para la recopilación de datos (conteos de tráfico).

2.1 El fenómeno del tráfico

Thomson y Bull (2002) y Tapia (1998) concuerda que a partir de los años noventa, el aumento de la demanda de transporte y del tránsito vial han ocasionado, especialmente en grandes ciudades, un incremento de congestión, demoras, accidentes y problemas ambientales. Kerner (2009), menciona que el tráfico vehicular es un comportamiento dinámico complejo, ya que cada vehículo se comporta de manera diferente al resto y a la naturaleza del tráfico, dicha naturaleza ocurre en un espacio y tiempo, por lo que si se desea entender el comportamiento del tráfico es necesario entender estas características espacio-temporales. Explica además que cuando la densidad del tráfico es lo suficientemente alta, se genera un régimen de congestionamiento, el cual es normalmente definido como un estado del tráfico resultante de un embotellamiento en una vía como consecuencia inevitable de un flujo aguas arriba que excede la capacidad de aguas abajo del embotellamiento. Aunque dicha definición varíe entre autores, ya que, según la Conferencia Europea de Ministros de Transporte no existe una definición única y ampliamente aceptada (ECMT, 2007). Esto se observa claramente en Downs (2004) y Taylor (1999); en donde el primero la define como un proceso inherente de las grandes ciudades, que se va agravando por la falta de estudios de tránsito que permitan conocer el comportamiento de los flujos en calles y avenidas. Mientras que el segundo define la congestión de tráfico como el fenómeno de mayor interrupción del movimiento del tráfico en un sistema de transporte, el cual es observado en términos de demoras y de colas, que es generado por las interacciones entre las

unidades de flujo en una corriente de tráfico o en las corrientes de tráfico que se cruzan.

2.2 Estimación de matrices origen-destino (O-D)

Fue a principios de la década de los setenta cuando se observó la necesidad de obtener matrices de viaje de forma rápida y económica, por lo que se comenzó a desarrollar aproximaciones teóricas a la construcción de matrices a partir de los volúmenes de tráfico en la red de carreteras. De acuerdo con Ortúzar y Willumsen (2008), una matriz no es más que la representación bidimensional de viajes, en donde las filas representan los orígenes y las columnas los destinos, y en el que su diagonal principal corresponde a los viajes intrazonales. En la Figura 2-1, se presenta la estructura de una matriz O-D.

Orígenes	Destinos						$\sum_j T_{ij}$
	1	2	...	j	...	z	
1	T_{11}	T_{12}	\vdots	T_{1j}	\vdots	T_{1z}	O_1
2	T_{21}	T_{22}	\vdots	T_{2j}	\vdots	T_{2z}	O_2
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
i	T_{i1}	T_{i2}	\vdots	T_{ij}	\vdots	T_{iz}	O_i
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
z	T_{z1}	T_{z2}	\vdots	T_{zj}	\vdots	T_{zz}	O_z
$\sum_i T_{ij}$	D_1	D_2	...	D_j	...	D_z	$\sum_i T_{ij} = T$

Figura 2-1. Estructura general de una matriz de viajes bidireccional.

Donde:

T_{ij} : Total de viajes entre el origen i y el destino j

O_i : Número total de viajes con origen en la zona i

D_j : Número total de viajes atraídos por la zona j

La suma de los viajes por cada una de las filas debería ser igual al número total de viajes generados por la zona a la que se refiere dicha fila, análogamente la suma

de los viajes por cada columna debería corresponder al número de viajes atraídos por la zona a la que se refiere la columna.

Según O'Neill (1987), las diversas aproximaciones que existen para sintetizar matrices de viaje a partir de conteos de tráfico se pueden dividir en dos amplias categorías:

- Técnicas de calibración de parámetros.
- Métodos de estimación de matrices de viaje (O-D).

Siendo la segunda, un conjunto de interacciones espaciales entre un grupo de puntos, donde cada fila en una matriz O-D representa una ubicación de origen y cada columna representa una ubicación de destino. Brenninger-Göthe y Jörnsten (1988), corroboran la importancia de la estimación de matrices O-D para solucionar el bien conocido problema de planificación de tráfico. Además, mencionan que uno de los acercamientos para la obtención de matrices O-D es el uso de conteo de volúmenes de tráfico. Cascetta y Nguyen (1988), Fisk (1989) y Verastegui (2012), coinciden en que para resolver el problema de la estimación de matrices O-D es necesario el simplificar dicho problema mediante la aplicación de nuevas teorías y metodologías, ya que si este problema es simplificado será más sencillo su comprensión y por lo tanto su resolución.

Por una parte, Verastegui (2012), menciona que para facilitar el estudio del problema de estimar matrices O-D a partir de tráfico de volúmenes observados (\hat{v}), los diversos métodos desarrollados en la literatura se pueden definir en un modelo de asignación, un método de estimación y la información disponible. Lo anterior, permite obtener una forma unificada de formular el problema:

$$\text{Minimizar} \quad F(\mathbf{g}) = \eta_1 F_1(\mathbf{g}, \hat{\mathbf{g}}) + \eta_2 F_2(\mathbf{v}, \hat{\mathbf{v}}) \quad (\text{Ec. 1})$$

$$\text{Sujeto a: } \mathbf{v} \in A(\mathbf{g})$$

$$\mathbf{g}(\boldsymbol{\theta}) \in G$$

donde A representa algún modelo de asignación, las F_1 y F_2 quedan determinadas por el método de estimación y los parámetros η_1 y η_2 reflejan la confianza relativa en los datos disponibles \hat{v} y \hat{g} . La restricción $g(\theta) \in G$ representa la región factible para el conjunto de matrices O-D que dependen del conjunto de parámetros θ a estimar. Aquí se analizará el caso en el que el conjunto de parámetros a estimar sea la propia matriz g , es decir, $\theta = g$. Las restricciones usuales que contienen el conjunto G son la no negatividad de las entradas de la matriz O-D y/o la satisfacción de la información de zonas disponibles.

Por otra parte, Cascetta y Nguyen (1988) presentan en su estudio un marco unificado para la estimación o actualización de matrices O-D mediante conteos de tráfico, donde proponen la resolución del problema de estimación de matrices mediante la aplicación de dos aspectos, el primero es la combinación de datos basados en conteo de tráfico y otra información disponible; y el segundo es el uso de técnicas de inferencia estadística para el desarrollo de criterios de la elección de las distribuciones de conteo de tráfico, la recopilación de recuentos de tráfico, y el conteo de información independiente. Gracias a lo anterior, es posible describir el problema de estimación mediante el siguiente problema de optimización genérico:

$$\min_{T \in S} f_1(T, \cdot) + f_2(T, \hat{V}) \quad (\text{Ec. 2})$$

donde la función objetivo es convexa y diferenciable en $T \neq 0$, y el conjunto de restricciones S se especifica mediante:

- restricciones simples $T \geq 0$ ó
- restricciones lineales $\begin{cases} AT = \hat{V} \\ T \geq 0 \end{cases}$ y/o $\begin{cases} BT = b \\ T \geq 0 \end{cases}$

Donde dependiendo del modelo estadístico considerado, la función objetivo $f_1(T, \cdot)$ y $f_2(T, \hat{V})$ puede cambiar:

$$f_1(T, \cdot) = \begin{cases} \sum_{ij} [\alpha_i t_{ij} - n_{ij} \ln(\alpha_i t_{ij})], & \text{Poisson } n_{ij} \\ \sum_{ij} t_{ij} \left[\frac{\ln(t_{ij})}{q_{ij}} - 1 \right], & \text{Poisson } t_{ij} \\ (\hat{T} - T)^{Z^{-1}} (\hat{T} - T), & \text{Mínimos cuadrados} \\ \frac{1}{2} (T - Q)' W_Q^{-1} (T - Q), & \text{MVN } Q \end{cases} \quad (\text{Ec. 3})$$

$$f_2(T, \hat{V}) = \begin{cases} \sum_{l \in M} A_l T - \hat{v}_1 \ln(A_l T), & \text{Poisson} \\ \frac{1}{2} (\hat{V} - AT)' W^{-1} (\hat{V} - AT), & \text{MVN} \end{cases} \quad (\text{Ec. 4})$$

2.3 Comunicación mediante VANET

Según Härrri (2009), debido al gran crecimiento de la flota de vehículos a principios del siglo 20, los científicos e ingenieros han intentado comprender y reproducir los patrones de movilidad vehicular, lo que llevó al desarrollo de un nuevo dominio de investigación llamado teoría del tráfico. Esta teoría pretende comprender el vínculo entre la velocidad, el flujo y la densidad del tráfico para crear una gestión eficiente de la infraestructura de transporte y resolver los problemas de tráfico. La combinación de investigaciones recientes sobre la teoría del tráfico con los avances tecnológicos permitió la aparición de la red vehicular *ad-hoc*, VANET por sus siglas en inglés. Las VANET, de acuerdo con Noori y Valkama (2013), es una tecnología que consiste en construir una robusta red *ad-hoc* con el propósito de hacer que los vehículos sean capaces de "comunicarse" con las unidades de carretera (*RSU*) y entre sí. La comunicación puede hacerse por *GPS*, *Bluetooth*, *Wi-Fi*, redes celulares, *RFID*, etc. Este tipo de comunicación se ha llamado comunicación de vehículo a vehículo (*V2V*) en el caso de un intercambio de información solo entre vehículos; mientras que cuando se transfiere información entre vehículos y unidades

de carretera, se denomina comunicación vehículo a infraestructura (V2I). En la Figura 2-2 se muestra el funcionamiento básico de una VANET.

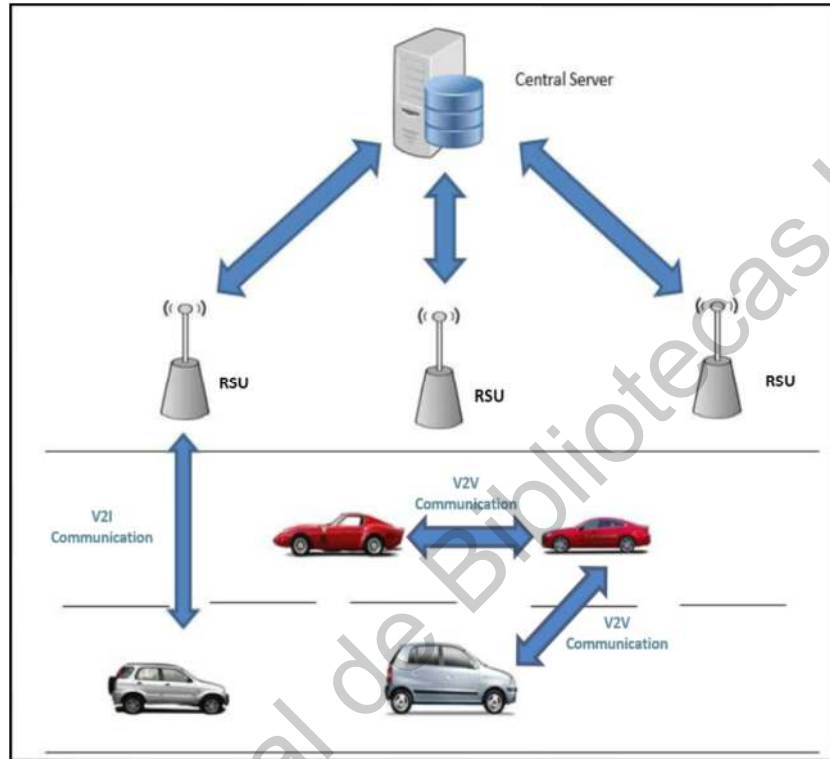


Figura 2-2. Funcionamiento de las VANET's

Fuente: Derder y Moussaoui (2014)

Noori y Valkama (2013) y Derder y Moussaoui (2014) coinciden en que una de las aplicaciones de las comunicaciones V2V y V2I es el seguimiento de objetivos, lo que posibilitará la recolección de información relacionada con el tráfico en tiempo real, es decir, seguir el movimiento de un vehículo paso a paso. La explotación de esta aplicación de V2V y V2I, está dentro del alcance del desarrollo de Sistemas de Transporte Inteligentes (ITS), que tiene como objetivo hacer que el transporte sea más eficiente, al mismo tiempo que garantiza la seguridad y mejora la experiencia de conducción.

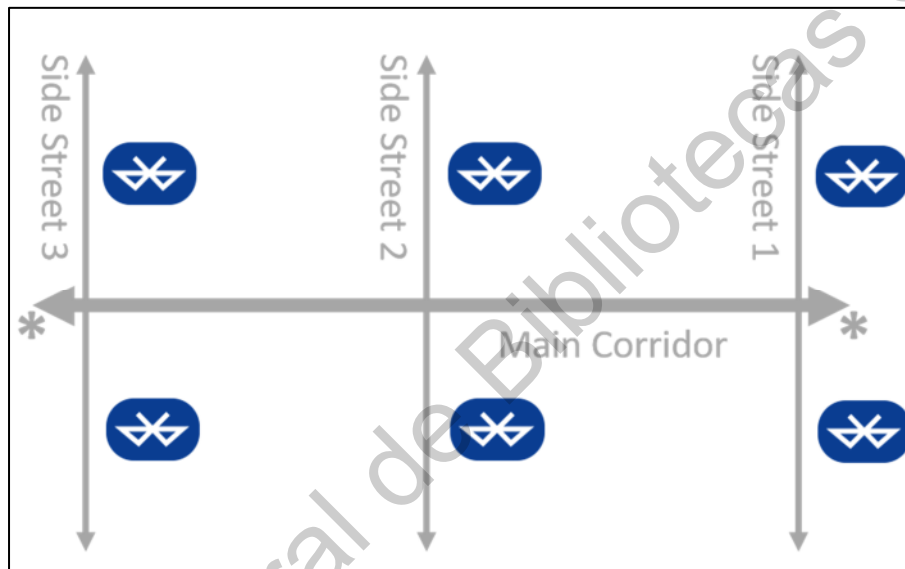
Con el paso de los años se han realizado diversos estudios e investigaciones en el uso de VANET's para la estimación de matrices O-D dinámicas, por ejemplo,

Mellegård *et al.* (2011) realizaron una investigación para la estimación de matrices O-D mediante el análisis de Datos de la Red Celular. En dicha investigación se aplicó una metodología para el análisis de los datos recabados, con los cuales se generó una matriz O-D. Esta metodología se basaba en convertir la información obtenida de las estaciones a un *ID* al cual se le concede una posición (latitud y longitud). Estos *ID* a su vez son usados para encontrar los patrones de movimiento del usuario del celular, sin embargo, surge la necesidad de procesar los datos y de esta manera eliminar datos no deseados; los principales datos (registros) a eliminar son los de los usuarios de no se encuentran en movimiento y aquellos que no presenten por lo menos dos registros. Los resultados de este estudio fueron satisfactorios, el estudio demostró que los datos reales recopilados de las redes de los operadores se pueden utilizar para obtener matrices O-D, además de preservar la privacidad de cada individuo.

En ese sentido, Calabrese *et al.* (2011) efectuaron una investigación donde se plantea estimar flujos O-D mediante el uso de datos de ubicación del teléfono móvil. El procedimiento que se utilizó para la estimación de matrices O-D dinámicas consiste en dos pasos: el primero es la determinación de viajes, y el segundo se refiere a la estimación de orígenes y destinos de dichos viajes. Para disminuir los errores ocasionados por el procesamiento de datos se aplicó una limpieza a los datos. El resultado es una matriz *3D* cuyos elementos representan el número de viajes la región origen *i* a la región destino *j*, comenzando dentro de la ventana de tiempo *tw*. La matriz O-D resultante permite observar el gran potencial que tiene el uso datos de localización obtenidos a través de teléfonos móviles para la estimación de estas.

Como respuesta al éxito de investigaciones posteriores, Carpenter *et al.* (2012) llevaron a cabo un caso de estudio en Jacksonville, Florida. En dicho estudio se desarrolló un algoritmo que generase matrices O-D de rutas específicas, utilizando información obtenida mediante tecnología *bluetooth*. En el presente estudio se distribuyeron sensores *bluetooth* a lo largo de un corredor, los cuales

registrarán los dispositivos que circulen en dicho corredor. La localización de los sensores que registrarán la ID fue cuidadosamente analizada para garantizar una recopilación de datos suficiente para su utilización en estimación de matrices O-D; se observaron 3 posibles métodos de despliegue de los dispositivos cada uno de ellos con sus ventajas y desventajas, decidiéndose por la opción mostrada en la Figura 2-3.



*Sensores adicionales para obtención de pares O-D en el corredor principal.

Figura 2-3. Distribución de sensores Bluetooth con enfoque primario a estimación O-D

Fuente: Calabrese *et al.* (2011).

Además del despliegue anterior mencionado, los sensores *bluetooth* deberán de estar ubicados a 300 *ft* del tráfico en ambas direcciones y tener una línea de visión clara del tráfico para recopilar datos óptimos. La información recolectada por los sensores es analizada para la posterior generación de matriz O-D, por ello se desarrolló un método de análisis de dos pasos. El primero elimina datos erráticos y no deseados; mientras que el segundo paso implica la generación de los itinerarios de los viajes registrados. Esto fue hecho de tal forma de que la información obtenida por los sensores intermedios del corredor vial fuera preservada, de esta manera se realizó un análisis más robusto de los datos. Así mismo se siguieron los siguientes criterios para la formación de los itinerarios:

1. Los viajes se formaron a partir de una única MAC ID.
2. Los viajes se unieron en orden cronológico.
3. La diferencia de tiempo máxima entre dos registros es de 30 min.
4. Ningún viaje usó el mismo sensor Bluetooth dos veces en el mismo viaje, lo que evitó los viajes redondos.
5. Si más de un registro coincidía con los primeros cuatro criterios, se eligió el registro con la diferencia de tiempo mínima.

Los resultados de este estudio han demostrado que es posible aplicar la metodología anterior a datos obtenidos mediante *bluetooth* en un corredor, como un mecanismo práctico y eficiente para desarrollar matrices O-D de rutas específicas. No obstante, se menciona la necesidad de realizar un refinamiento a la metodología en donde se considere.

Finkenzeller (2010) comenta en su libro que, en los últimos años la tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID) se ha vuelto muy popular en muchas industrias de servicios, logística de compras y distribución, industria, compañías manufactureras, y sistemas de flujo. Esto debido a las ventajas que ésta posee ante otros procedimientos de identificación automática (*Auto-ID*), algunas de estas ventajas son comentadas en Want (2006) y en Ahuja y Potti (2010), las cuales son:

- la capacidad de identificación a distancia y sin necesidad de tener línea de visión,
- el sistema es capaz de discernir muchas etiquetas diferentes ubicadas en la misma área general sin asistencia humana,
- lectura y escritura de tiempo rápida,
- puede funcionar en diferentes entornos y se puede usar de forma efectiva durante más de 10 años,
- los *tags* (etiquetas) pueden funcionar con GPRS y pueden ser utilizados para rastreo,

- también puede integrarse con otras tecnologías, como son los sensores inalámbricos para mejor conectividad.

Lo anterior, sumado a la posibilidad de adquirir la información en gran cantidad y modificarla en tiempo real, ha llevado al uso de la tecnología RFID a sistemas de identificación automática de vehículos (AVI). En consecuencia, se han realizado diversos estudios e investigaciones en relación al uso de RFID como un medio de identificación vehicular. Por ejemplo, Li (2010) menciona en su artículo que la función y el papel de la identificación automática por RFID ha traído grandes cambios al sistema de gestión de tráfico inteligente (ITMS) en China, y tiene un futuro muy brillante. Esto se corrobora en Yu *et al.* (2011) y Chattaraj (2009), ambos coinciden en que mediante la implementación de un sistema de identificación automática basado en RFID es posible mejorar el control y operación de sistemas de tráfico. El primero de ellos propone resolver el complejo problema del control del tráfico vehicular en los cruces de vehiculares mediante el uso de un sistema inteligente de control de tráfico (ITCS) basado en RFID; el segundo presenta el diseño y la implementación de un sistema basado en *tags* RFID activas, el cual permita resolver el problema de monitoreo a tiempo real de vehículos en la gestión del tráfico.

2.4 Localización óptima para estaciones de conteo vehicular

La calidad de las matrices O-D estimadas mediante conteos de tránsito depende de dos aspectos de importancia, el primero de ellos es la confiabilidad y precisión de los datos de entrada; mientras que el segundo hace referencia al número y localización de los puntos de conteo. Aunque referente a los datos de entrada se han realizado diversas investigaciones y propuesto varias metodologías para su análisis, el segundo punto concerniente a la ubicación y número de puntos de conteo ha recibido atención muy limitada. Uno de los primeros estudios respecto al tema fueron realizados por Lam y Lo (1990), donde propusieron algunos procedimientos heurísticos para identificar el orden en que se deben seleccionar los

links para estimar matrices O-D. Yang *et al.* (1998) y Ma *et al.* (2006) concuerdan en el análisis del concepto de error relativo máximo posible (MPRE), como base para el establecimiento de reglas y modelos matemáticos, los cuales permitiesen observar el cambio en la confiabilidad de la matriz O-D respecto al número y la ubicación de los puntos de conteo en la red. Por su parte, Yang *et al.* (1998) mencionan que no todos los links de conteos de tráfico incluyen la misma cantidad de información, algunos conteos incluso no contribuyen a la estimación de matrices O-D. Mediante la teoría de MPRE ellos establecen cuatro reglas de ubicación para conteos de tráfico, dichas reglas son la regla de cobertura O-D, la regla de fracción de flujo máximo, la regla de interceptación de flujo máxima, y regla de independencia de enlace. Finalmente se formula el problema de ubicar puntos de conteo en una red como programas matemáticos, donde la regla de cobertura O-D y la regla de independencia se incorporan como restricciones, y los flujos netos totales de tráfico observados se toman como la función objetivo que se debe maximizar. Dichos programas matemáticos fueron aplicados a dos diferentes casos, el caso donde la información de flujo de camino está disponible y el otro caso donde solo se requiere la distribución de flujo inicial y las probabilidades de giro en los nodos. Los ejemplos numéricos mostraron que el método tiene el potencial para aplicaciones prácticas.

En cambio, Ma *et al.* (2006) mediante el concepto de MPRE y la teoría de estimación de la matriz O-D a partir de los flujos de tráfico observados; establecen las siguientes reglas, la regla de cobertura O-D, la regla de cobertura de ruta, la regla de fracción de flujo máximo, y la regla de interceptación de flujo máxima. Con respecto a las reglas más importantes, cobertura de ruta y de interceptación de flujo máxima, se establece el modelo de programación matemática para determinar el número y la ubicación de los puntos de conteo de tráfico. Mediante el análisis de un ejemplo práctico, se confirman la viabilidad y la coherencia del modelo.

Otro acercamiento importante es el de Chen *et al.* (2007), ellos desarrollan estrategias para seleccionar conteos de tráfico adicionales para mejorar la

estimación de matrices O-D. Estas estrategias son generadas en base a una línea de pantalla de modelos tradicionales de localización de conteos de tránsito (TLC), los cuales son expresados como formulaciones de programación entera. Para resolver estos problemas combinatorios, se desarrolla un algoritmo genético integrado con un algoritmo de ruta más corta. Para demostrar el impacto de las ubicaciones de los conteos de tránsito en la estimación de matrices O-D, se realizó un experimento único en un entorno real, donde bajo un ambiente SIG se visualizó la evolución de la estimación O-D a medida que aumenta el número de ubicaciones de conteos de tráfico. Los resultados fueron, que a medida que aumenta el número de ubicaciones de conteos, la matriz O-D resultante es más coherente, ya que se observan y se estiman más zonas con intercambios de viaje.

Por otra parte, en los últimos años ha surgido la necesidad de aplicar las teorías antes mencionadas a las nuevas tecnologías de recolección de datos para la generación de matrices O-D dinámicas. Dos ejemplos de ello son Chiou *et al.* (2012) y Khliefat y Shatnawi (2017), mientras que Chiou *et al.* (2012) efectuaron una investigación para dispositivos de reconocimiento de matrículas (LPR), Khliefat y Shatnawi (2017) realizaron el estudio para sensores *Bluetooth*. Sin embargo, ambos coincidían en la necesidad de reducir los costos de instalación mientras que a su vez maximizaban la obtención de datos.

2.5 Simuladores computacionales de tráfico

Dentro de los simuladores computacionales de tráfico comerciales con mayor popularidad se encuentran el VISSIM, Paramics, MITSIMLab (*MIT microscopic traffic simulation laboratory*), DRACULA (*Dynamic Route Assignment User Learning and microsimulation*), DynaMIT (*Dynamic Network Assignment for the Management of Information to Travelers*) y AIMSUN (*Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and non-urban Networks*). En el presente estudio se utilizará el *software* AIMSUN; la primera razón para seleccionarlo, es que se consideró que la herramienta a utilizar fuera capaz de aceptar controle externos, desarrollados por el usuario, que permitan realizar operaciones que no existan por *default* en el *software*.

La segunda razón es que la Universidad de Querétaro, en la Maestría de Vías Terrestres y Movilidad se cuenta con la licencia del software. A continuación, se presenta una breve introducción del software AIMSUN.

2.5.1 AIMSUN

Sistema de simulación de transporte creado como programa de investigación a largo plazo por la Universidad de California. Las principales áreas de aplicación de AIMSUN son la ingeniería del tráfico y, más recientemente, el apoyo en línea a las decisiones de gestión de tráfico (en tiempo real). En cualquier caso, el uso de AIMSUN o AIMSUN Online tiene como objetivo proporcionar soluciones a corto y mediano plazo en problemas de planificación y operación para los que la dinámica y los modelos desagregados de seguimiento vehicular y cambio de carril son muy adecuados. Originalmente el AIMSUN estaba planeado para simulaciones microscópicas de tránsito, actualmente el programa también es capaz de realizar simulaciones mesoscópicas y macroscópicas (Casas *et al.*, 2010). Con base en Chiappone *et al.* (2016), numerosos problemas en la ingeniería y en la ciencia en general requieren la optimización del rendimiento de los modelos, minimizando el error entre los datos aportados por el modelo y los observados en campo, por lo que basaron su estudio en la calibración de los modelos empleados por el microsimulador considerando las relaciones de velocidad-densidad. Para Yazan (2016), la precisión de los datos de actividad de los vehículos generados por el modelo de microsimulación dependen de cómo los modelos representan a dichos vehículos, por lo que resulta importante que el modelo empleado reproduzca la misma variabilidad en el comportamiento de los vehículos en la realidad; así, analizaron enfoques relacionados en cómo la dinámica de los vehículos es representada en los modelos de microsimulación de AIMSUN y encontraron que las distribuciones de los parámetros dinámicos del vehículo, en específico, la velocidad máxima deseada y la aceleración, además del percentil 95 de la desaceleración normal, han representado en el simulador un comportamiento realista del vehículo al comparar con los valores observados en el mundo real.

Al igual que otros simuladores mencionados con anterioridad, las aplicaciones que se le pueden dar al AIMSUN son variadas, Barceló *et al.* (2005), evaluaron el uso de este microsimulador como herramienta para el diseño, análisis y evaluación de sistemas inteligentes de transporte. En Dorado y Obregón (2016) se reporta la implementación y desarrollo de un algoritmo un enrutador de vehículos en tiempo real. Mientras Anya *et al.* (2014), estudiaron la aplicación de los modelos incluidos en AIMSUN para estimar las emisiones de contaminantes, y en el mismo sentido Obregón *et al.* (2016) evalúan las emisiones contaminantes y consumo de combustible resultantes por la dispersión urbana de la zona metropolitana de Querétaro, mientras en Vásquez y Obregón (2017) determinan la geometría y espaciamientos adecuados para mitigar emisiones y consumo de combustible debidos a la falta de reglamentación de los reductores de velocidad en el municipio de Querétaro.

Además, de las aplicaciones mencionadas, AIMSUN puede realizar otras funciones que no vienen programadas por defecto en el *software*; estas aplicaciones externas pueden ser agregadas a AIMSUN gracias a su capacidad de interactuar con rutinas, programadas por el usuario, desarrolladas en C++ o Python.

2.6 Programación en AIMSUN

Según Casas *et al.* (2010), el programa AIMSUN incluye una interfaz de programación de aplicaciones, la cual es una herramienta o modulo que le da al programa la capacidad de relacionarse, con prácticamente cualquier aplicación externa que pueda emplear algunos de los objetos del simulador. De igual manera, el programa incluye un kit de desarrollo de software, el cual es un conjunto de librerías que permiten a cualquier usuario o compañía el desarrollo de aplicaciones para o basadas en AIMSUN. Debido a estas facilidades, en esta investigación se empleará este programa para la implementación de los modelos en las simulaciones. De acuerdo con TSS (2013), la tendencia actual para el desarrollo de nuevos sistemas de control inteligentes hace que los simuladores se queden

rezagados ante la incapacidad de incluir modelos específicos basados en enfoques dirigidos a situaciones actuales.

El Módulo que permite dicha programación externa se llama AIMSUN API; mediante la utilización de esta función se pueden modelar atributos de elementos de control de tráfico como se muestra en la Figura 2-4.



Figura 2-4. Esquema del funcionamiento de un control externo en AIMSUN.

Fuente: TSS-Transport Simulation Systems.

2.6.1 Programación de una API's

La simulación computacional, como indican Fang *et al.* (2008), resulta en una herramienta disponible para la evaluación de diversas situaciones relacionadas con el transporte y operación, como lo son estrategias para la mejora de los sistemas o algoritmos antes de ser implementados en el campo. Sin embargo, el reto de la implementación de nuevas tecnologías dentro de las simulaciones como el control de señales en tiempo real o el empleo de sistemas de posición geográfica (GPS) que ayuden al enrutamiento vehicular no están disponibles en la mayoría de los modelos de simulación. En TSS (2013) se menciona que si bien la tendencia actual en el desarrollo de aplicaciones para el transporte se enfoca en la inclusión de nuevas tecnologías para el control y mejora de los sistemas, estos modelos están lejos de ser estandarizados y es por eso que se dificulta la inclusión en los simuladores actuales, por lo que simuladores como el AIMSUN permiten el

intercambio de información entre aplicaciones definidas por el usuario y el ambiente del simulador a través de Interfaces de Programación de Aplicaciones (API's).

Mediante el uso de una API es posible que el usuario realice cambios en la simulación como las conductas de los conductores, modificaciones a los planes de control, entre otros (Fang, 2008). Vilarinho *et al.* (2014) y Vilarinho y Tavares (2014) emplearon API's para mejorar la capacidad de simulación del AIMSUN incluyendo una optimización de los tiempos semafóricos del plan de control con información dinámica del tráfico. Ntousakis *et al.*, (2015) usaron API's para AIMSUN para poder evaluar la comodidad y seguridad de un plan control adaptativo en una intersección; de manera similar con el uso de una API Rauh *et al.*, (2016), mejoraron.

3. METODOLOGÍA

En este apartado se describe el proceso metodológico seguido para comprobar la hipótesis planteada, y así mismo llevar a cabo el cumplimiento del objetivo que se expuso anteriormente. Dicho proceso se presenta en la Figura 3-1.

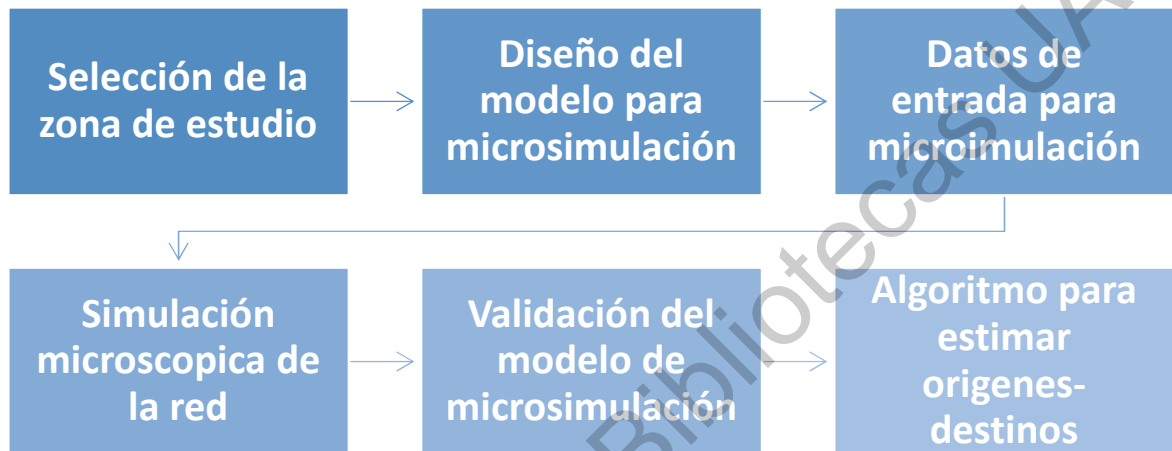


Figura 3-1. Diagrama de metodología.

Fuente: Elaboración Propia.

A continuación, se describe detalladamente cada uno de los pasos mostrados en el diagrama, de tal forma que se comprenda completamente el procedimiento realizado en la presente investigación.

3.1 Selección de la Zona de Estudio

La zona de estudio se ubica dentro de la Zona Metropolitana de Querétaro (ZMQ); la cual presenta una alta población que requiere trasladarse en todas direcciones para cumplir sus tareas cotidianas (Obregón y Bueno, 2015). Según el CONCYTEQ (2006), dicha necesidad a desplazarse se debe a que las zonas con alta población tienden a desarrollar un gran comercio; el cual se distribuye espacialmente en toda su área.

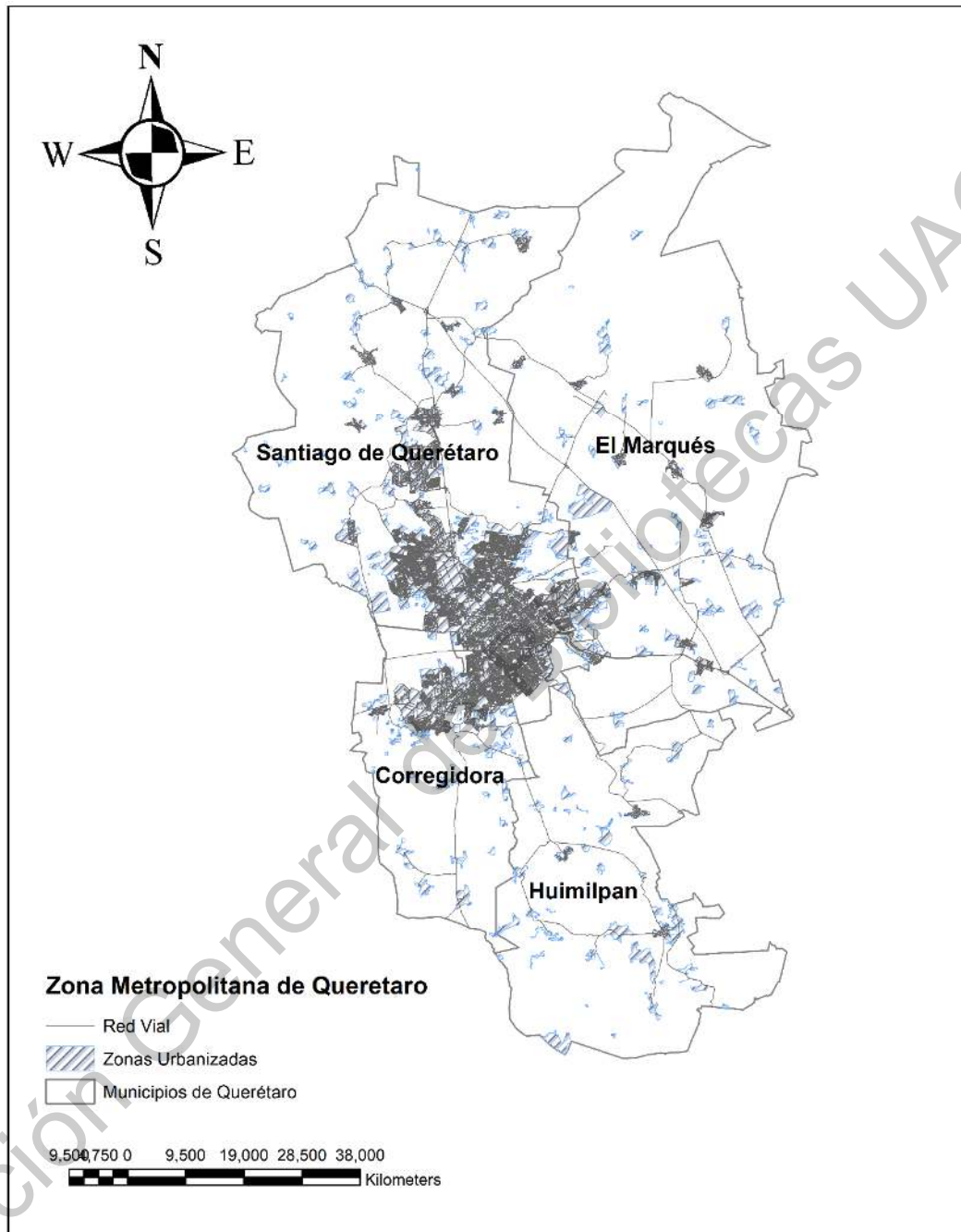


Figura 3-2. Zona Metropolitana de Querétaro.

Adaptado: Obregón y Bueno (2015).

Fuente: Elaboración Propia.

Para lograr la selección adecuada de la zona de estudio se siguió lo expuesto por García (2005); el cual sugiere que para detallar la problemática vial actual es

inevitable analizar el comportamiento pasado. Por ello, se consultaron datos históricos de los patrones de viaje que se generan dentro de la ZMQ. Los datos analizados son los Bueno (2010) y Juárez (2018). Por un lado, Bueno (2010) realizó una serie de encuestas O-D aplicadas en la ZMQ, con las cuales logro estimar una matriz O-D, para finalmente obtener una serie de líneas de deseo, tal y como se observa en la Figura 3-3; **Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

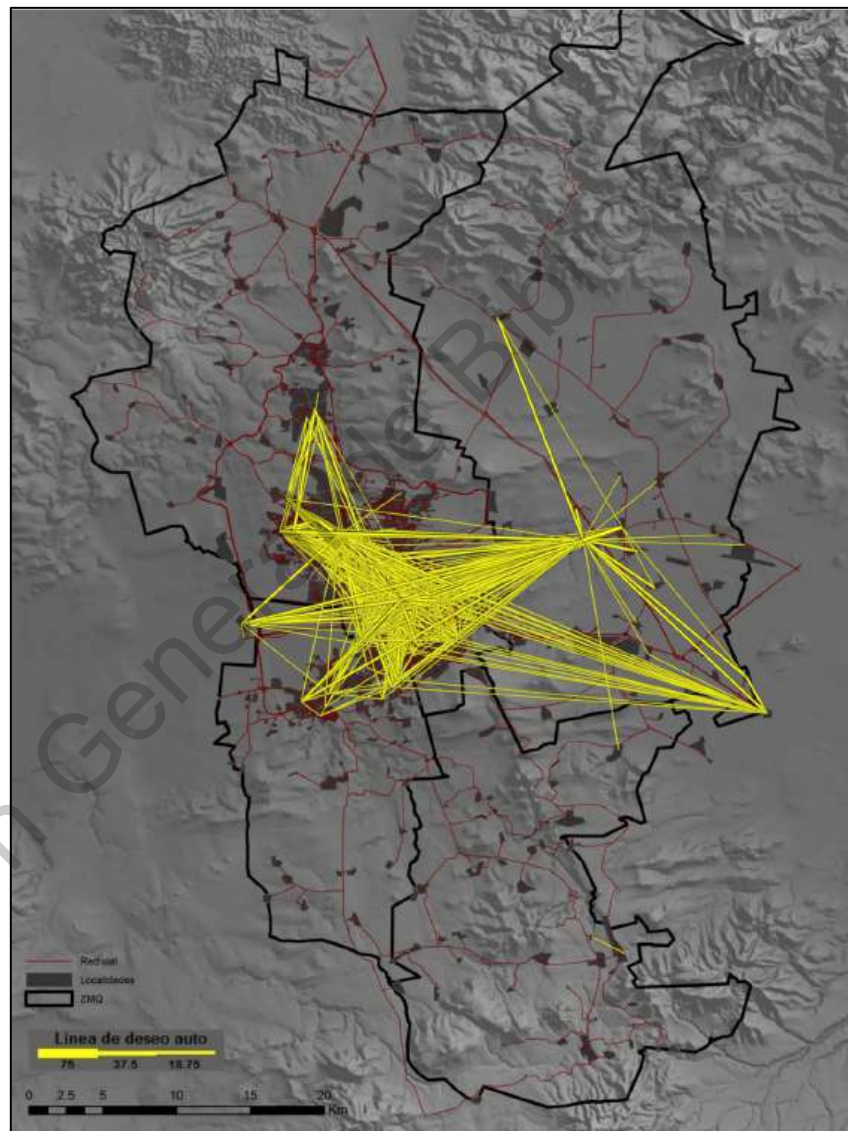


Figura 3-3. Líneas de deseo en auto (ZMQ) mayor a 10 viajes.

Fuente: Bueno (2010).

Por el otro lado, Juárez (2018) realizó una encuesta O-D en la Zona Conurbada de Querétaro (ZCQ) en 2017; con esta encuesta se logró determinar la distribución total de los viajes en la ZCQ. La distribución de dichos viajes fue representada en un conjunto de líneas de deseo, las cuales se pueden observar en la Figura 3-4.

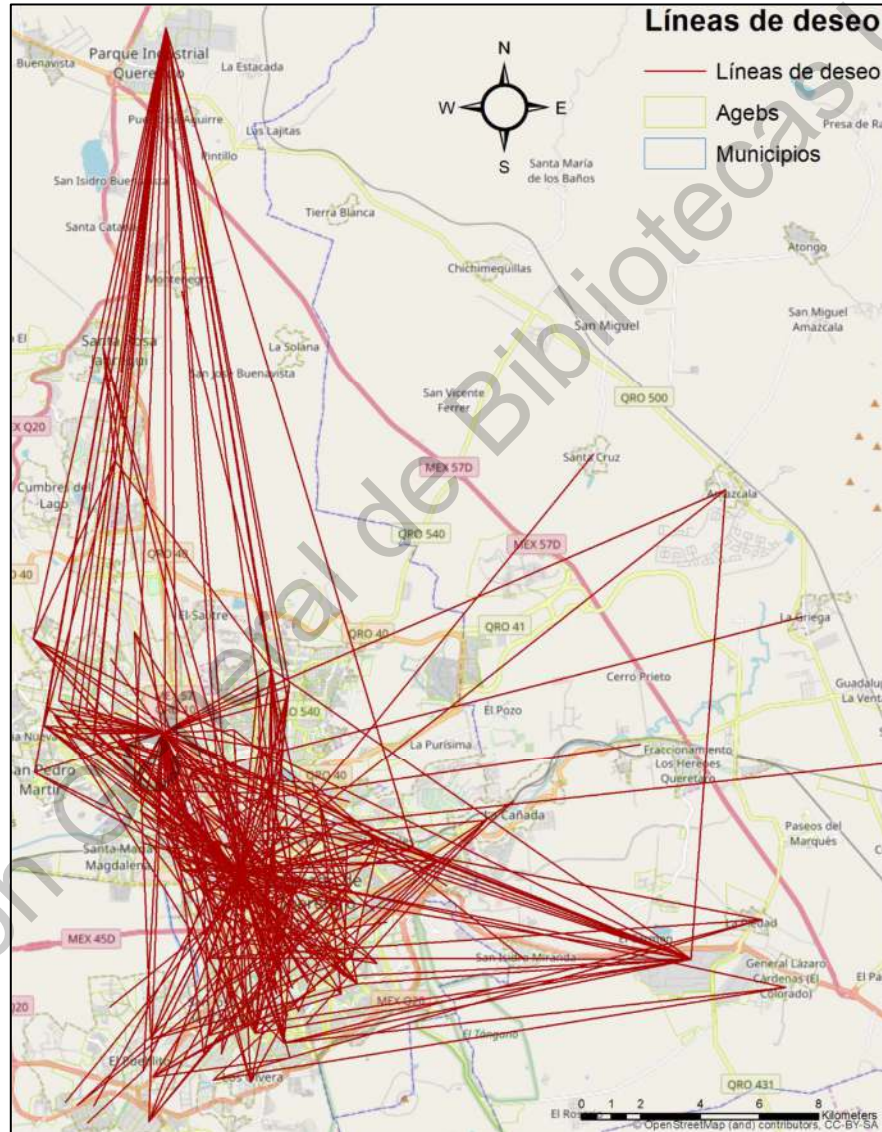


Figura 3-4. Líneas de deseo para viajes totales en la ZCQ.

Fuente: Juárez (2018).

Mediante el análisis de los datos históricos del comportamiento de movilidad de la Zona Metropolitana de Querétaro (ZMQ), se logró delimitar el área en donde existen mayor atracción de viajes, y por consiguiente en donde se realiza el mayor movimiento vehicular. Dicha área es la Delegación Centro Histórico del Municipio de Querétaro, la cual está delimitada por la Carretera Federal 57, Av. 5 de Febrero y el Blvd. Bernardo Quintana (Figura 3-6).

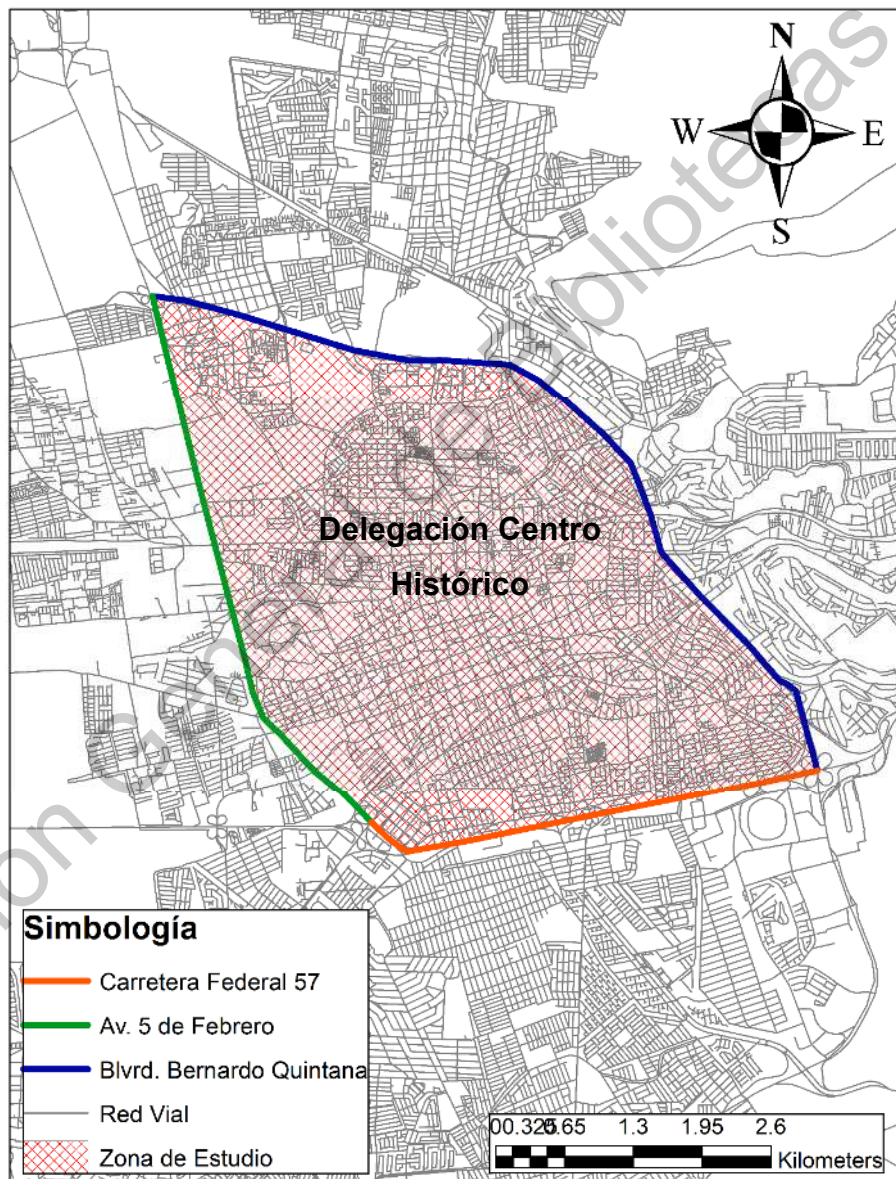


Figura 3-5. Zona de Estudio para experimentación

Fuente: Elaboración Propia

3.2 Diseño del modelo para microsimulación.

El escenario de simulación es esencial para la investigación, pues es en él, se realiza la experimentación necesaria para el desarrollo del algoritmo de estimación de matrices O-D. Dicho escenario está formado por las vialidades primarias que se encuentran en la delegación Centro Histórico; ya que como lo menciona Chissano y Minnery (2014), las vialidades primarias son las arterias de una ciudad, por donde circulan la mayor parte de vehículos, y son fundamentales su desarrollo.

Las vialidades primarias serán simuladas mediante el programa especializado en emulación de flujo de tráfico vial llamado AIMSUN (Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and non-urban Net-works). Este programa contiene una Interfaz de Programación de Aplicaciones (API, por sus siglas en inglés) mediante la cual se puede hacer el acoplamiento de algoritmos desarrollados externamente.

Siguiendo la metodología propuesta por Dorado (2014), se elabora un modelo esquemático de experimentación. Dicho modelo se construye con base en un grafo dirigido con pesos de arco no negativos. Para facilitar la elaboración del grafo se utiliza un *software* de Sistema de Información Geográfica (SIG). Dentro de este *software* es posible trabajar los datos vectoriales obtenidos de:

- I. El Conjunto de Datos Vectoriales de Carreteras y Vialidades Urbanas, del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2018).
- II. La Red Nacional de Caminos, la cual es el resultado de un esfuerzo interinstitucional SCT-IMT y el INEGI.

No obstante, datos vectoriales contienen información que se extienden más allá de la zona de estudio (Figura 3-6), es por ello, que se realiza una depuración de la información.

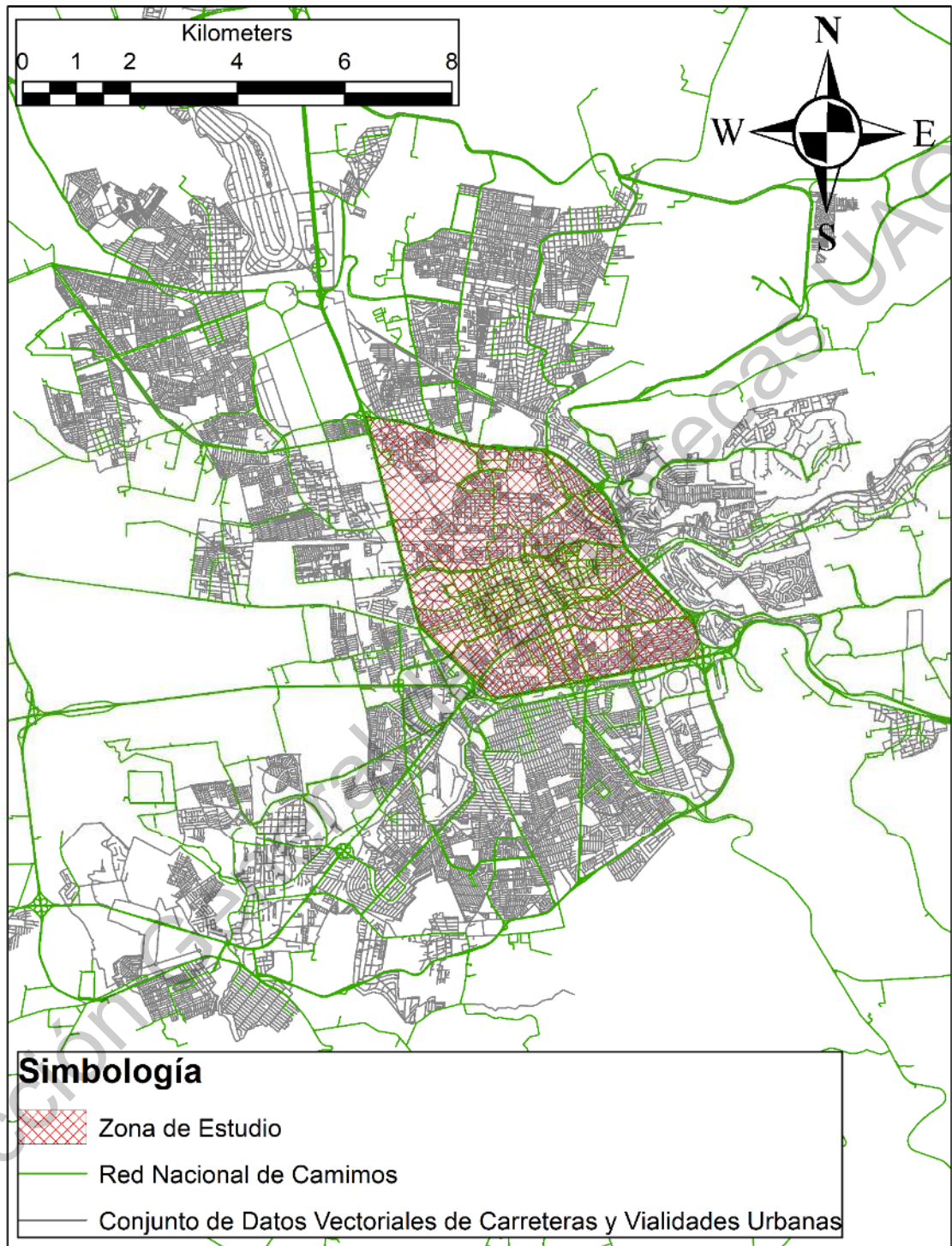


Figura 3-6. Red de carreteras y vialidades urbanas de Querétaro.

Fuente: Elaboración Propia.

Esta depuración consta de eliminar aquellas vialidades que no sean primarias y tengan interacción directa con la zona de estudio. Las vialidades primarias de la zona de estudio se obtuvieron de la clasificación realizada en la investigación de Montoya (2011) y un estudio elaborado por SteerDavis para el Municipio Querétaro en 2016. Con esta clasificación se determinó que existen 61 vialidades primarias dentro de la zona de estudio, las cuales se presentan en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1. Datos de los modelos de vehículos que transitarán en el modelo

1.- Avenida 20 de Noviembre	32.- Calle Felipe Angeles
2.- Avenida 5 de Febrero	33.- Avenida Ignacio Zaragoza
3.- Carretera Al Campo Militar	34.- Prolongacion Ignacio Zaragoza
4.- Circuito Alamos	35.- Avenida Independencia
5.- Carretera Anillo Vial Fray Junipero Serra	36.- Avenida Industrializacion
6.- Calle Benito Juarez	37.- Calle Invierno
7.- Boulevard Bernardo Quintana	38.- Circuito Jardin
8.- Prolongacion Bernardo Quintana	39.- Calle La Raya
9.- Avenida Cerro Blanco	40.- Carretera Lateral federal 57
10.- Avenida Cerro del Sombrero	41.- Avenida Luis Pasteur
11.- Avenida Cimatario	42.- Avenida Luis Vega y Monroy
12.- Calle Circuito Jardines	43.- Avenida Magisterio
13.- Avenida Circunvalacion	44.- Calle Manuel Gutierrez Najera
14.- Avenida Circunvalacion	45.- Calle Mariano Arista
15.- Calle Coahuila	46.- Calle Melchor Ocampo
16.- Calle Colon	47.- Calle Nicolas Bravo
17.- Avenida Constituyentes	48.- Avenida Paseo Constituyentes
18.- Prolongacion Constituyentes	49.- Avenida Paseo de la Reforma
19.- Avenida Corregidora	50.- Calle Paseos de la Colina
20.- Prolongacion Corregidora Norte	51.- Avenida Pie de la Cuesta
21.- Avenida Corregidora Sur	52.- Carretera Queretaro - Irapuato
22.- Calle Damian Carmona	53.- Avenida Rio Ayutla
23.- Calle De la Peñita Oriente	54.- Calle San Diego
24.- Calzada De los Arcos	55.- Avenida San Roque
25.- Boulevard De los Cedros	56.- Prolongacion Tecnologico
26.- Avenida Del Rio Poniente	57.- Avenida Tecnologico
27.- Avenida Ejercito Republicano	58.- Avenida Tecnologico
28.- Calle Ejercito Republicano	59.- Calle Trueno
29.- Avenida Epigmenio Gonzalez	60.- Avenida Universidad
30.- Calle Ezequiel Montes	61.- Calle Vicente Guerrero
31.- Carretera Federal Numero 57	

Fuente: Elaboración Propia.

Al considerar estas 61 vialidades y eliminar el resto se obtienen los arcos que conforman el grafo, como se observa en la Figura 3-7.



Figura 3-7. Red vial depurada

Fuente: Elaboración Propia

Fue importante verificar que todos los arcos estén unidos y así evitar problemas de conexión. Posteriormente se ubican los nodos que representan las intersecciones de las vialidades. Para determinar estos nodos se obtuvo la topología de los arcos, adquirir la topología representa que se determine la posición geográfica de donde comienza y termina cada arco, tal como se muestra en la Figura 3-8.

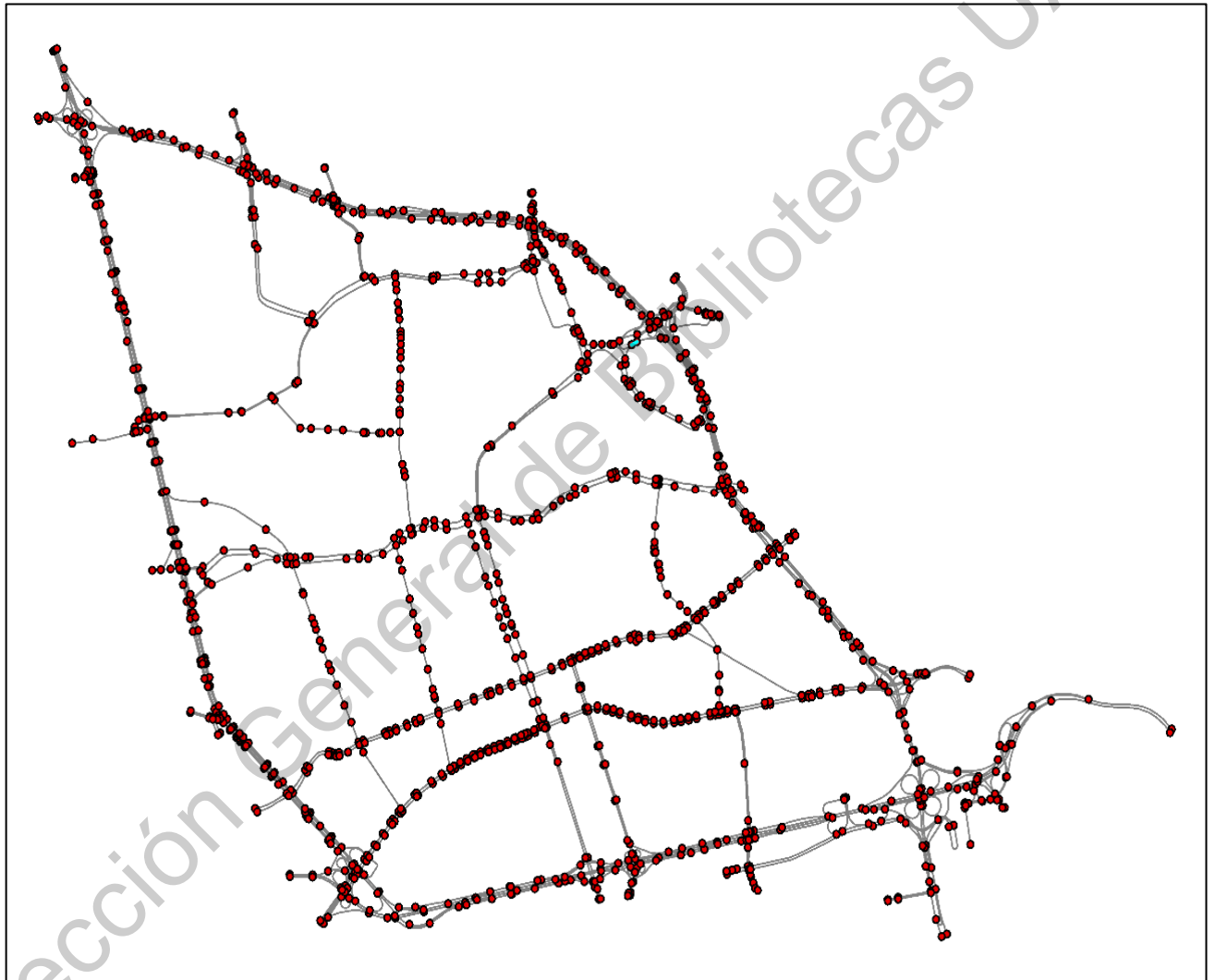


Figura 3-8. Topología de la red

Fuente: Elaboración Propia

Esta topología representa a su vez el modelo esquemático de experimentación, el cual contiene un total de 3002 nodos y 1520 arcos, los cuales se trasladan dentro del *software* AIMSUN. Es en este punto donde el generar un grafo con datos

vectoriales presenta sus ventajas, debido a que el *software* contiene una herramienta que permite importar dichos datos vectoriales y obtener una red con adyacencias, tal y como se presenta en la Figura 3-9 y Figura 3-10.

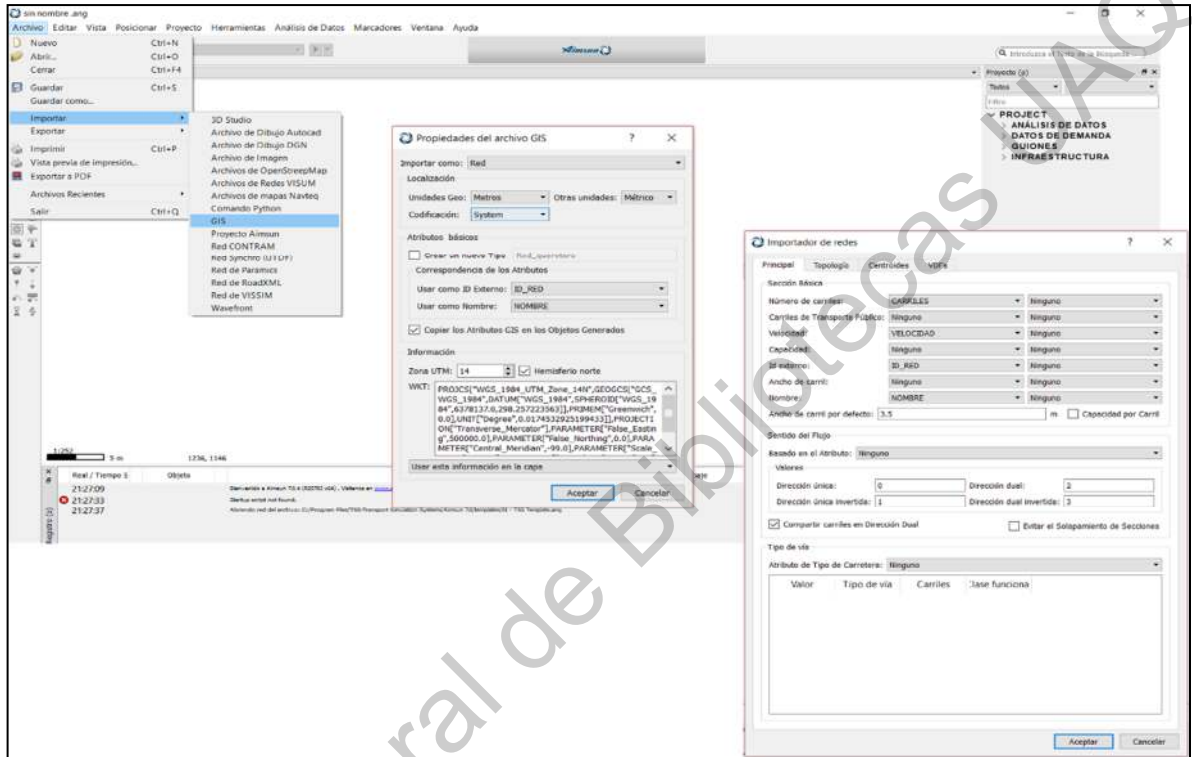


Figura 3-9. Importación del grafo a AIMSUN

Fuente: Elaboración Propia

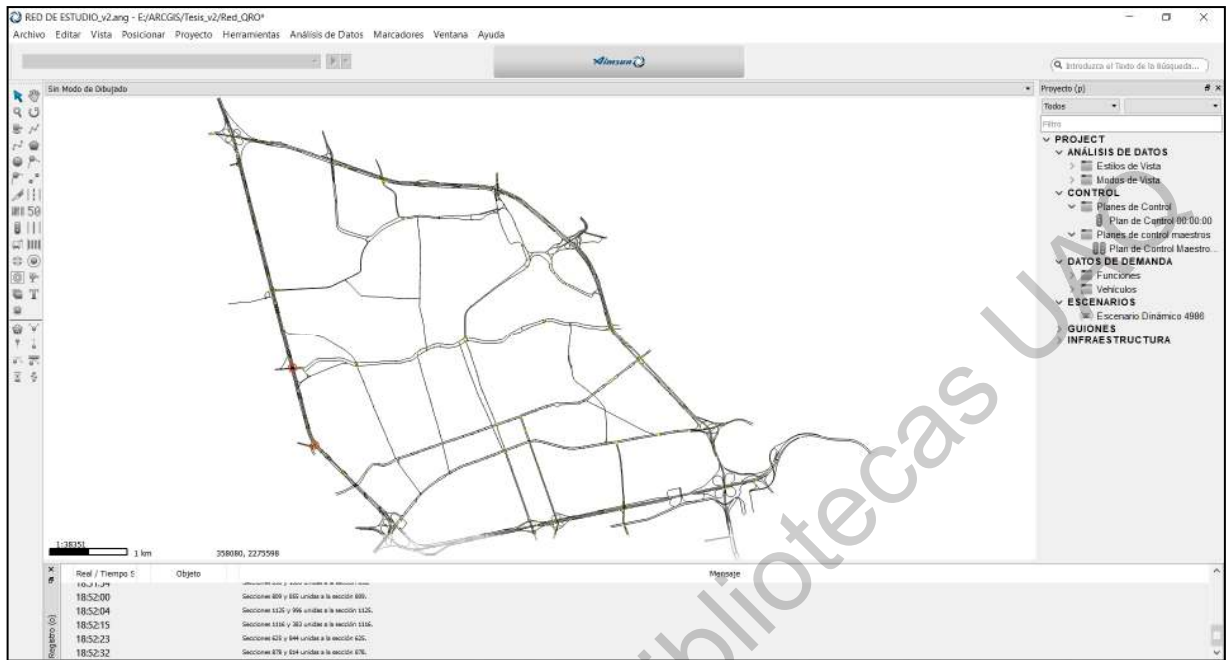


Figura 3-10. Red vial de estudio dentro de AIMSUN

Fuente: Elaboración Propia

Una vez la red vial se encuentre dentro del *software*, es necesario revisar las adyacencias de las vialidades en las intersecciones, es decir, se tiene que comprobar que las vialidades se hayan conectado correctamente. En la Figura 3-11 se muestra el detalle del nodo 843, en el cual se verifican las adyacencias de ocho vialidades.

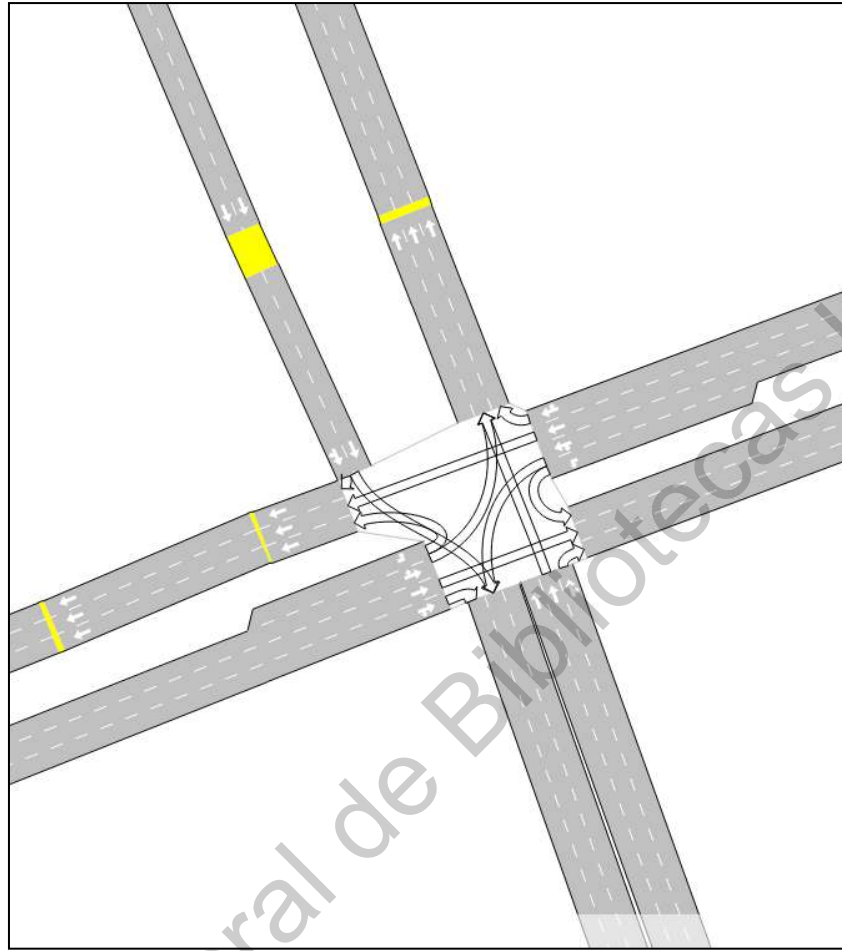


Figura 3-11. Verificación de adyacencias del nodo 843.

Fuente: Elaboración Propia

Dicha verificación se realiza con todos los nodos del modelo, de manera que los vehículos que son simulados solo realicen los movimientos que en la realidad suceden. Se utilizó el *software* Google Earth para ayudar a verificar todos los nodos.

3.3 Datos de entrada para microsimulación

Un modelo de microsimulación requiere de una serie de datos de entrada para que la simulación se lleve a cabo de manera correcta. Estos datos de entrada varían de respecto al *software* y la aplicación específica del modelo; siguiendo las recomendaciones de Ramírez (2012) se consideran características, tales como:

- Geometría de la vialidad (ancho y longitud del carril, radios de curvatura, número de carriles)
- Controles de tráfico (ciclos semaforizados)
- Demandas (volúmenes de entrada, volúmenes de movimiento)
- Especificaciones técnicas de vehículos (dimensiones, potencia, torque y aceleración)
- Otros (dirección del flujo, velocidad máxima y deseada)

3.3.1 Geometría de la vialidad

Los datos de geometría básica que requieren la mayoría de los modelos consisten en el número de carriles, longitud, dirección del flujo y velocidad. Para las intersecciones, los datos de geometría deben incluir los carriles designados para vueltas. Las características geométricas se obtuvieron de dos fuentes:

- I. El Conjunto de Datos Vectoriales de Carreteras y Vialidades Urbanas, del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2018).
- II. La Red Nacional de Caminos, la cual es el resultado de un esfuerzo interinstitucional SCT-IMT y el INEGI.

Los cuales son los mismos que se utilizaron para la creación del modelo esquemático (grafo). Los datos vectoriales contienen información necesaria para cada una de las vialidades que se simularon, como se observa en la Figura 3-12.

FID	Shape *	ID_RED	TIPO VIAL	NOMBRE	CARRILES	VELOCIDAD	LONGITUD	CODIGO	COND_PAV	RECUBRI
1470	Polyline	0	Avenida	San Roque	2		125.18			
1471	Polyline	0	Avenida	San Roque	2		82.13			
1472	Polyline	0	Avenida	San Roque	2		99.35			
1473	Polyline	0	Avenida	San Roque	2		14.74			
1474	Polyline	0	Avenida	San Roque	2		19.37			
1475	Polyline	0	Avenida	San Roque	2		67.07			
1476	Polyline	0	Avenida	San Roque	2		154.18			
1477	Polyline	0	Avenida	San Roque	2		111.94			
1478	Polyline	0	Avenida	San Roque	2		69.8			
1479	Polyline	0	Avenida	Tecnologico	4	44.	0.52528	0		
1480	Polyline	565544	Avenida	Ignacio Zaragoza	2	40	210.592286	N/A	N/A	N/A
1481	Polyline	0	Enlace	RETORNO	1	34.	0.10994	0		
1482	Polyline	0	Avenida	Tecnologico	2	44.	6.96569	0		
1483	Polyline	0	Avenida	Tecnologico	3	27.	3.41318	0		
1484	Polyline	0	Calle	Ezequiel Montes	3	26.	1.68848	0		
1485	Polyline	0	Calle	Ezequiel Montes	3	26.	6.70873	0		
1486	Polyline	0	Calle	Ezequiel Montes	2	26.	2.62696	0		
1487	Polyline	0	Calle	Ejercito Republicano	2	23.	4.90704	0		
1488	Polyline	0	Avenida	Circunvalacion	3	32.	1.37746	0		
1489	Polyline	0	Avenida	20 de Noviembre	4	26.	9.87921	0		
1490	Polyline	0	Avenida	20 de Noviembre	2	25.	9.42353	0		
1491	Polyline	0	Avenida	20 de Noviembre	2	13.	2.73346	0		
1492	Polyline	0	Avenida	20 de Noviembre	2	31.	2.90829	0		
1493	Polyline	0	Avenida	20 de Noviembre	1	31.	4.48333	0		
1494	Polyline	0	Avenida	20 de Noviembre	1	13.	8.95663	0		
1495	Polyline	561810	Avenida	5 de Febrero	3	40	481.837216	N/A	N/A	N/A
1496	Polyline	5645230	Enlace	N/A	2	30	130.872282	N/A	N/A	N/A
1497	Polyline	563887	Avenida	5 de Febrero	3	40	481.99599	N/A	N/A	N/A
1498	Polyline	564536	Enlace	N/A	2	30	131.240931	N/A	N/A	N/A
1499	Polyline	563517	Enlace	N/A	2	30	77.495219	N/A	N/A	N/A
1500	Polyline	564318	Avenida	5 de Febrero	3	40	376.226657	N/A	N/A	N/A
1501	Polyline	1090104	Enlace	N/A	1	20	51.163031	N/A	N/A	N/A
1502	Polyline	636614	Carretera	Lateral federal 57	2	60	508.842427	N/D	Con pavimento	Concreto
1503	Polyline	636614	Carretera	Lateral federal 57	2	60	508.842427	N/D	Con pavimento	Concreto

Figura 3-12. Información contenida en datos vectoriales.

Fuente: Elaboración Propia

3.3.2 Datos de control de tráfico

Los dispositivos para la regulación del tránsito vehicular son elementos físicos empleados con el fin de prevenir, reglamentar e informar a los usuarios de las calles y carreteras acerca de la manera correcta de circulación por estas, a fin de permitir una circulación más ágil y garantizar la seguridad y comodidad en las vías.

Mediante el oficio mostrado en el Apéndice 7.1, se solicitaron los datos de control de tráfico a la Secretaria de Movilidad (SEMOV) del Municipio de Querétaro. Esta información es de suma importancia para la modelación, pues permite representar la operación vehicular ante este tipo de señales y poder simularlas de una manera eficaz obteniendo datos lo más apegados a la realidad.

La zona de estudio cuenta con un total de 96 intersecciones semaforizadas, las cuales se presentan en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2. Intersecciones semaforizadas en la zona de estudio

1. Playa Roqueta y Cerro del Sombrerete	34. Universidad y Gabino Barrera	67. Independencia y Calzada de los Arcos
2. Pie de la Cuesta y Bernardo Quintana	35. Rio Ayutla y De la Piedad	68. Ignacio Zaragoza enfrente de Telmex
3. Bernardo Quintana y Corregidora Norte	36. Universidad y Tecnológico	69. Ignacio Zaragoza y Churubusco
4. Paseo de la Reforma y Paseo de la Colina	37. Universidad e Ignacio Pérez	70. Ignacio Zaragoza e Ignacio Pérez
5. Bernardo Quintana y Universidad	38. Universidad y Ezequiel Montes	71. Ignacio Zaragoza y Nicolás Campa
6. Bernardo Quintana y De los Arcos	39. Universidad y Vicente Guerrero	72. Ignacio Zaragoza y Melchor Ocampo
7. Prolongación Constituyentes antes de entrar al distribuidor vial con Bernardo Quintana (QROBUS)	40. Universidad y Benito Juárez	73. Ignacio Zaragoza y Vicente Guerrero
8. En la lateral de Prolongación Constituyentes para ingresar a Bernardo Quintana	41. Universidad y Corregidora	74. Ignacio Zaragoza e Ignacio Allende
9. Lateral Carretera 57 y Cimatario	42. Universidad y Manuel Gutiérrez Nájera	75. Ignacio Zaragoza y Vergara
10. Lateral Carretera 57 y Corregidora Sur	43. Universidad y Damián Carmona	76. Ignacio Zaragoza y Luis Pasteur
11. 5 de Febrero y Zaragoza	44. Universidad y Mariano Arista	77. Ignacio Zaragoza y Manuel Acuña
12. 5 de Febrero y Tlacote	45. Tecnológico enfrente del ISSSTE	78. Ignacio Zaragoza e Insurgentes Queretanos
13. 5 de Febrero y Rio Ayutla	46. Tecnológico y Miguel Hidalgo	79. Tecnológico y Fernando Loyola
14. 5 de Febrero y Epigmenio González	47. Tecnológico y Francisco I. Madero	80. Tecnológico y Constituyentes
15. Prolongación Tecnológico, en el retorno que está a la altura del Hotel Casa Celaya	48. Tecnológico y José María Pino Suarez	81. Ezequiel Montes y Constituyentes
16. Prolongación Tecnológico y Epigmenio González (glorieta)	49. Tecnológico e Ignacio Zaragoza	82. Corregidora y Constituyentes
17. Ezequiel Montes y Epigmenio González	50. Ezequiel Montes y José María Morelos	83. Luis Pasteur y Constituyentes

18. Epigmenio González y Acceso I (a la altura de Industrias Ki De México, S. De R.L. De C.V.)	51. Ezequiel Montes y Miguel Hidalgo	84. Ejercito Republicano e Independencia
19. Epigmenio González y M. Cervantes S.	52. Ezequiel Montes y Andrés Balvanera	85. 20 de Noviembre y Constituyentes
20. Epigmenio González y Camino Real	53. Ezequiel Montes y Francisco I. Madero	86. Ejercito republicano y De la Acordada
21. Epigmenio González y Ejido	54. Ezequiel Montes y José María Pino Suarez	87. Ejercito republicano y Constituyentes
22. Epigmenio Gonzales y Felipe Ángeles	55. Ezequiel Montes y José María Arteaga	88. Av. de la Vizcaínas y Constituyentes
23. Epigmenio González e invierno	56. Ezequiel Montes y Ignacio Zaragoza	89. Ignacio Pérez y Constituyentes
24. San Roque y Ejido	57. Benito Juárez e Ignacio Zaragoza	90. Constituyentes y Fray Pedro de Gante
25. San Roque y Felipe Ángeles	58. Corregidora y 15 de Mayo	91. Constituyente y Fray Juan de Talavera
26. Felipe Ángeles y Fraternidad	59. Corregidora y Ángeles Peralta	92. Constituyentes enfrente de Alameda justo al lado de la parada del QROBUS
27. Nicolás Bravo y Universidad	60. Corregidora y 16 de Septiembre	93. Constituyentes y José Siurob (cerca de ese cruce)

Fuente: Elaboración Propia

Estas intersecciones semaforizadas se muestran en la Figura 3-13, de tal manera que sea más fácil ubicarlas.

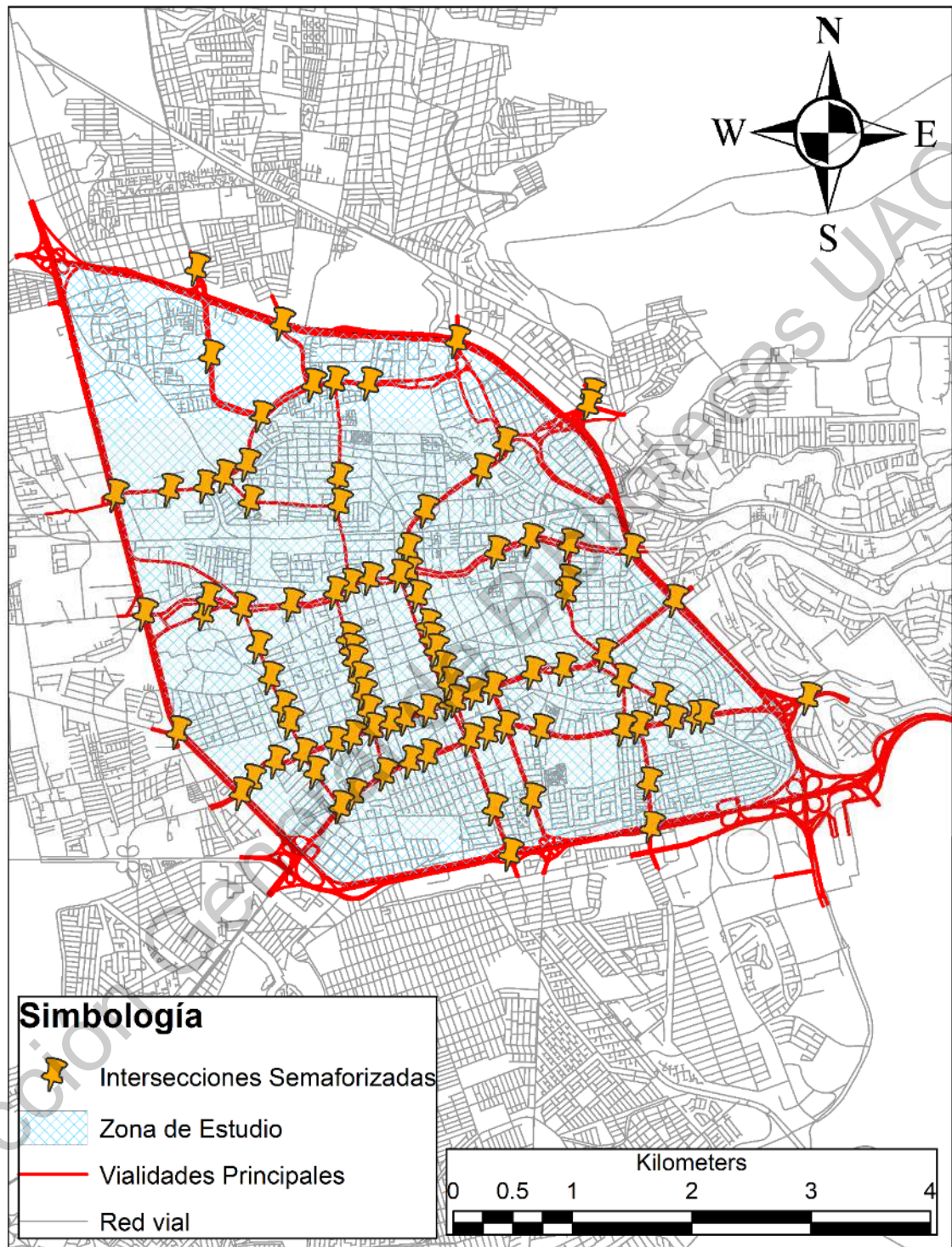


Figura 3-13. Intersecciones Semaforizadas.

Fuente: Elaboración Propia.

La información otorgada por la SEMOV, fue analizada y adaptada, de tal manera que se facilitara ingresar a AIMSUN. Dicha adaptación se realizó al convertir las tablas originales a graficas de barra, donde se mostrase el ciclo total y cada una de las fases. En la Figura 3-14 se puede observar un ejemplo de la conversión de tablas a gráfico.

Coordinación - Tabla Puntos														
Máximo de Vehículos (S-40)	40													
Tipo de la Tabla Puntos (Señalización)	Puntos													
Configuración - Compatibilidad de Fases / Secuencia														
Puntos	1	2	3	Secuencia 1 (Fase)	1, 4	5, 6	Anda	Anda 2	Anda 3	Anda 4				
Puntos Tiempo de Ciclo (Segundos)	60	104	101	Secuencia 2 (Fase)										
Puntos Tiempo de Encendido (Segundos)	0	70	72	Secuencia 3 (Fase)										
Puntos Ciclo Máximo (Segundos)	1	2	3	Secuencia 4 (Fase)										
Puntos Secuencia de Máximo (Ciclo)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
Subseñalización Preseñal (S/N)	No	No	No	No	No	No	No	No	No	Máximo 2 (Segundos)	0	0	0	0
Fase de Ciclo Local (1 - 10)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Tiempo de Frenado de Advertencia (Segundos)	0	0	0	0
Modo de Ciclo Local (Señalización)	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Modo 2 (Segundos)	0	0	0	0
Estimación Permisiva	Múltiple	Múltiple	Múltiple	Múltiple	Múltiple	Múltiple	Múltiple	Múltiple	Múltiple	Múltiple	Múltiple	Múltiple	Múltiple	Múltiple

Controlador - Duración de Fase																
Temporización Verde	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Verde Máximo (Segundos)	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Paseo (Segundos)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Máximo 1 (Segundos)	1	20	0													
Máximo 2 (Segundos)	0	0	0													

Coordinación - División 1								
División de Tiempo (Segundos)	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 5	Fase 6	Fase 7	Fase 8
Modo División (Modo)	Noche	Noche	Noche	Noche	Noche	Noche	Noche	Noche
Modo de Suspensión LISTC (Modo)	Otro	Otro	Otro	Otro	Otro	Otro	Otro	Otro
División Coordinada de Fase (S/N)	No	Si	No	No	No	Si	No	No
Tiempo de Inicio de la Ventana Permisiva (Segundos)	0	0	0	0	0	0	0	0
Tiempo de Finalización de la Ventana Permisiva (Segundos)	0	0	0	0	0	0	0	0

Las cotas representan los segundos.

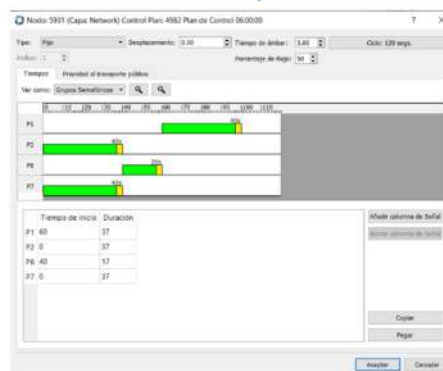
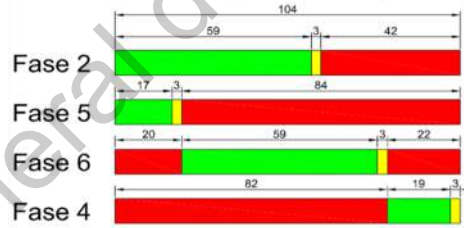


Figura 3-14. Ejemplo de conversión de tabla a gráfico, intersección Sombrerete - Playa Roqueta.

Fuente: Elaboración Propia.

Este proceso de conversión se realizó para cada una de las intersecciones semaforizadas; en el Apéndice 7.2, se presentan los resultados de todas las conversiones.

3.3.3 Datos de demanda

El dato de entrada que tal vez tenga el mayor peso, es la demanda de tráfico, la cual representa el total de viajes que se simularan. En este caso en particular la simulación será de una hora, de 07:30 a 08:30 hrs. Este horario, representa la hora de máxima demanda durante la mañana, y se determinó con el análisis del flujo vehicular derivado de examinar las encuestas Origen-Destino (O-D) de Juárez (2018). La demanda se introdujo mediante una matriz O-D, la cual se estimó de las mismas encuestas de Juárez (2018). En la Figura 3-15, se presenta un extracto de la matriz estimada con dichas encuestas.

	8078	8079	8080	8081	8082	8083	8084	8085	8086	Sum
7973	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1439
7974	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
7975	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7976	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7977	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7978	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7979	249	0	0	0	0	0	0	0	0	2240
7980	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7981	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7982	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2484
7983	0	0	0	0	0	0	0	0	0	803
7984	0	0	0	0	0	0	0	0	0	104
7985	0	0	0	0	0	0	0	0	0	527
7986	0	0	0	0	0	0	0	0	0	694
7987	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7988	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7989	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7990	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7991	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7992	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7993	0	0	29	0	0	0	0	0	0	868
7994	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	249	0	29	3	0	732	0	210		85038

Figura 3-15. Extracto de la matriz O-D de la ZCQ.

Adaptado: Encuestas O-D, Juárez (2018).

Fuente: Elaboración propia.

Es importante mencionar que la matriz antes mostrada representa los viajes realizados en toda la Zona Conurbada de Querétaro (ZCQ), la cual representa un total de 85,038 viajes. Por lo que esta información tuvo que ser procesada para que solo se consideren los viajes que pasen a través de la zona de estudio. Este proceso se realizó con el *software* TransCAD 5.0, pues contiene una herramienta que permite seleccionar una sub-área de análisis a partir de una red más compleja. Dicha selección se realiza sobre las vialidades que se deseen analizar, y se seleccionan los nodos de entrada y salida a la zona de estudio. Posteriormente se ejecuta la herramienta de “análisis de sub-área”, con la cual se realiza una asignación de tráfico con la matriz O-D de la ZCQ y con la red completa de vialidades del Municipio de Querétaro. Para generar una nueva matriz O-D (Figura 3-16) que solo contiene los viajes que circulan por las vialidades que se simulan, y tienen como punto de origen y destino los límites de la delegación Centro Histórico.

	22882	22883	22884	22885	22886	22887	22888	22889	22890	22891	22892	22893	22894	22895	22896	22897	22898	22899	22900	22901	22902	22903	22904	22905	22907	22908	22909	22910	Total
22879																													166
22880																													3
22881			1																										1072
22882												81														81			1
22883			1																										1304
22884	332															47										225			361
22885																1		81											2
22886																													2
22887																													2
22888																													2
22889																													1
22890																													1
22891																													1
22892																166													1188
22893																													1
22894																													1
22895																													200.50
22896																	80						1						
22897																													660
22898																													
22899																													5
22900				332	40																								953
22901																													4
22902																													670
22903				33																									2
22904																													
22905																													
22907																													
22908					81																								813
22909																													
22910																													117
Total	17	872	3	949	2855	758	33	321...	108.30	48	165	360	508	4043	718	40	2334	4	289	832	314	336		1	468	651	328	51182.06	

Figura 3-16. Extracto de la matriz O-D, generada para la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

Esta nueva matriz contiene un total de 51,182 viajes; lo que representa el 60.18% de todos los viajes que se realizan en la ZCQ.

Posteriormente esta información de demanda de tráfico es ingresada a AIMSUN mediante una configuración de centroides con los datos de origen-destino de la matriz mostrada en la Figura 3-16, tal y como se observa en la Figura 3-17.

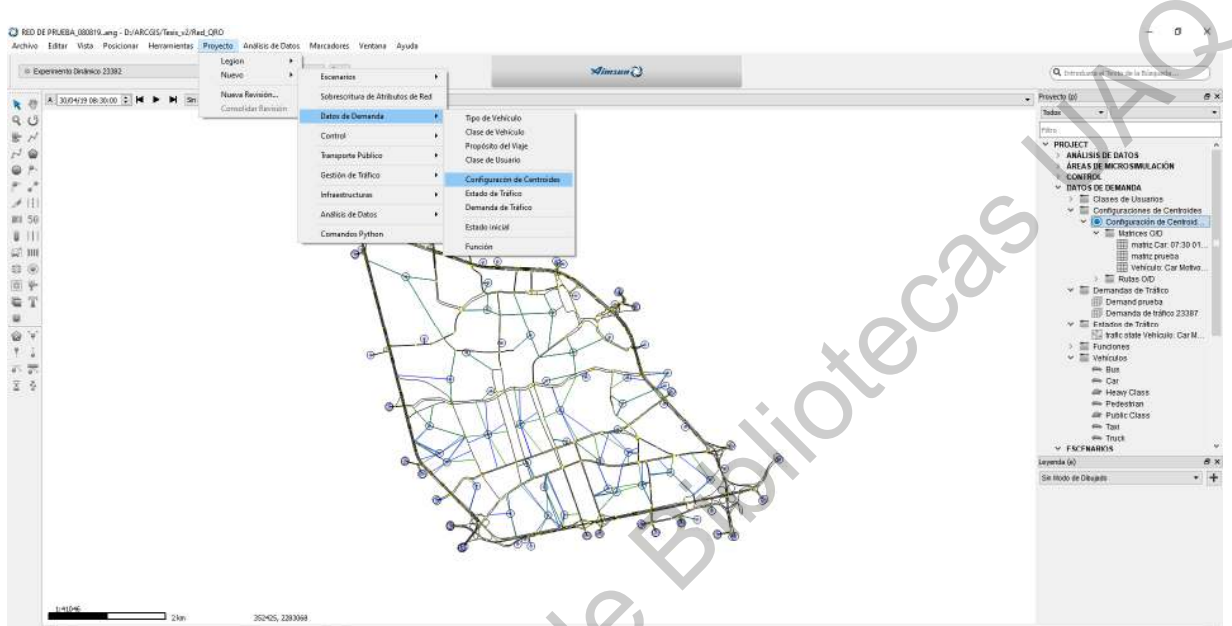


Figura 3-17. Carga de demanda de tráfico mediante centroides.

Fuente: Elaboración propia.

Como menciona Sheffi (1985), cada uno de estos centroides agrega todos los orígenes y/o destinos de la zona, es decir, cada centroide representa un punto donde empieza y termina un viaje. Mediante conectores, dichos centroide se conectan al resto de la red.

3.3.4 Especificaciones técnicas de vehículos

Se introdujeron los datos generales que necesita el programa para realizar la simulación. Las especificaciones de los vehículos se tomarán de la Tabla 3-3.

Tabla 3-3. Datos de los modelos de vehículos que transitarán en el modelo

Auto (A2)	Dimensiones				Potencia		Torque		Aceleración	
	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Ejes (m)	hp	rpm	lb-ft	rpm	0-100 km/h (s)	
AUDI A3	4.238	1.765	1.421		150	5700				
AUDI S3	4.23	1.765	1.399		261	6000		2500	5.7	
AVEO 2009	3.92	1.68	1.505	2.48	94	6200	130	3400		
AVEO SEDAN	4.31	1.71	1.505	2.48	94	6200	130	3400		
CHEVROLET AGILE	3.996	1.939	1.539		91	6000	120	3200		
CHEVROLET ASTRA	4.2	1.989	1.431	2.614	115		125			
AVEO 2012	4.315	1.709	1.506		103	5800	107	3600		
CHEVROLET CELTA	3.799	1.857	1.408	2.443	91	6000	121	2800	11.6	
CHEVROLET CORSA	2.491	1.646	1.43	3.822	100	5200	122	2800		
CHEVROLET MERIVA	4.042	1.944	1.573	2.63	120		125	2800	12.2	
CHEVROLET SPARK	3.64	1.91	1.522	2.375	80	6400	11	4800		
CHEVROLET VECTRA	4.618	2.017	1.458	2.703	148	5200				
CHEVROLET ZAFIRA	4.317	1.742	1.689	2.694	114	5200	125	2400		
CHEVROLET WAGON	4.056	1.768	1.448	2.443	91	5600				
CLIO GRAND TOUR	4.228	1.719	1.513							
CRUZE	4.597	1.788	1.477	2.685	140	6200	130	3800		
FORD FIESTA 2011	3.95	1.22	1.481		119	6350	112	5000		
FORD FOCUS 2012	4.358	1.823	1.484		150	6500	146	4450	8.5	
FORD FUSION 2010	4.013	1.724	1.543		263	6250	249	4500	7.5	
FORD MUSTANG 2010	4.765	1.877	1.382	2.718	300				5.7	
FORD SHELBY COBRA	4.292	1.943	1.194	2.405	540	6500	510	6500	4	
FORD TAURUS	5.154	1.935	1.542	2.867	263				7.2	
GOLF PLUS	4.206	1.759	1.58		105	4000			11.9	
IBIZA ST	4.227	1.693	1.445		105	5000	175	4100		
JETTA 2010	4.402	1.735	1.438	2.513	115	5400	122	2800	8.9	
SAIL	4.249	1.69	1.495	2.48	102	6000	131	4200		
SMART	3.495	1.495	1.5	2.34	52	6000	72	4400		
SONIC SEDAN	4.399	1.735	1.517	2.525	115	6000	155	4600		
TOYOTA AURIS	4.245	1.76	1.515							
TSURU 2012	4.325	1.381	1.381		105	6000	102	4000		

Fuente: Ramírez (2012)

Todos estos datos presentados fueron analizados para obtener el promedio y desviación estándar. Para ellos se ingresarán los datos al programa de análisis estadístico RProject, el cual nos dará las estadísticas requeridas (Tabla 3-4). Estas estadísticas se introducen a AIMSUN.

Tabla 3-4. Datos de los modelos de vehículos que transitarán en el modelo

Largo				Ancho				Alto			
Media	Des. Est.	Max.	Min.	Media	Des. Est.	Max.	Min.	Media	Des. Est.	Max.	Min.
4.2415	0.4501	5.15	2.49	1.7595	0.1182	2.01	1.49	1.4895	0.0845	1.68	1.19

Fuente: Elaboración propia

3.4 Simulación microscópica de la red

El modelo es el campo de pruebas, donde se simula y experimenta con el desarrollo del algoritmo, evitando la necesidad de usar recursos (humanos y materiales) en la vida real. Como señala Olstam y Tapani (2011), el proceso de simulación generalmente consiste de siete pasos (Figura 3-18).

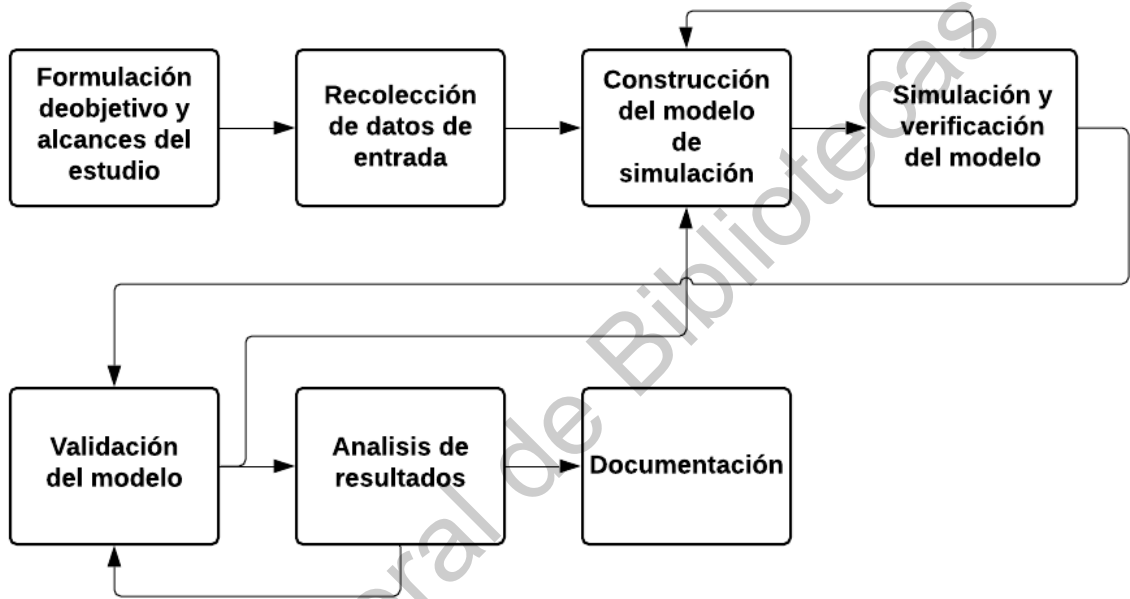


Figura 3-18. Proceso base para simulación.

Adaptado: Olstam y Tapani (2011).

Fuente: Elaboración propia.

Como propone Ramírez (2012), una vez construido el modelo y habiendo ingresado todos los parámetros físicos y de operación de cada uno de los vehículos y de la red vial, se procede a realizar la réplica de simulación con el fin de dar de alta los parámetros, y determinar de manera visual si existiese algún evento anormal dentro de la red que no ocurra en la realidad. Se recomienda realizar en este punto realizar varias réplicas de la simulación, donde en cada una de ellas se ajusten los parámetros vehiculares, de operación o características físicas de la red con el fin de asimilar de manera visual que lo simulado asemeja a la situación real.

3.5 Validación del modelo de microsimulación

La validación, según Hourdakis *et al.* (2003), es un proceso necesario para optimizar los parámetros usados en el modelo de simulación y así obtener resultados cercanos entre las medidas simuladas y las reales de tráfico. Como menciona Toledo *et al.* (2003), la calibración puede utilizar datos agregados (e.g., flujos, velocidades, ocupación, tiempo de recorrido, y longitud de cola). La validación del modelo de microsimulación se llevó cabo mediante el análisis de los flujos vehiculares. Dicha validación consideró comparar los flujos simulados y reales mediante el cálculo el GEH y un modelo de regresión lineal.

3.6 Algoritmo para estimar orígenes-destinos

El algoritmo para la estimación de matrices Origen-Destino (O-D), consta de tres rutinas, como se muestra en la Figura 3-19.

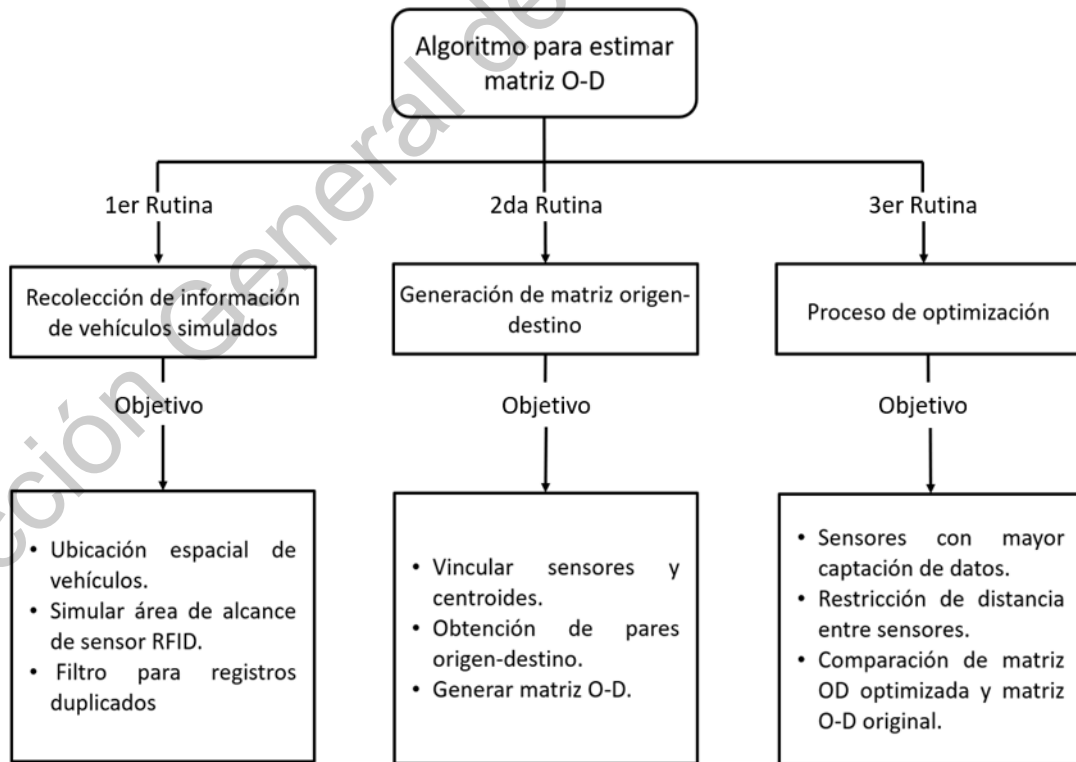


Figura 3-19. Diagrama de proceso del algoritmo.

Fuente: Elaboración propia.

Cada una de las rutinas realiza subprocesos que permiten obtener información, procesarla y generar resultados. A continuación, se describe a detalle la función de cada una.

3.6.1 Primera rutina

La primera rutina, tiene el propósito de obtener información de los vehículos simulados. La información que se requiere es el número de sensor que lo registro; ID del vehículo registrado; y tiempo de simulación en que se realizó el registro. Para ello es necesario conocer la posición de cada uno de los vehículos, esto se logra de la aplicación de una Interfaz de Programación de Aplicaciones (API, por sus siglas en inglés). En la Figura 3-21, se puede observar el diagrama de flujo de la interacción entre AIMSUN y la API creada.

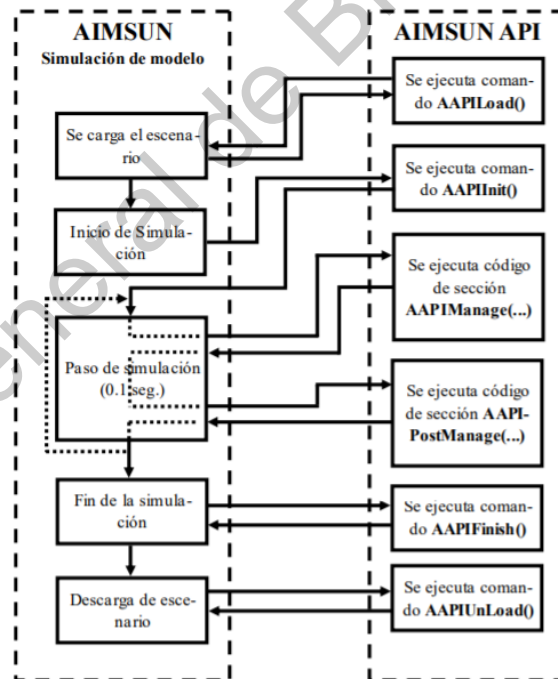


Figura 3-20. Diagrama de interacción entre AIMSUN y API.

Fuente: TSS (2013).

La rutina API permite realizar el rastreo de cada uno de los vehículos que circular por un tramo de la red, a cada paso de la simulación. Sin embargo, el

registro de información solo debe de hacerse cuando el vehículo se encuentre dentro del área de captación de un sensor RFID. Dicha área de captación se representa mediante un cuadrado de 320x320 metros (Figura 3-21).

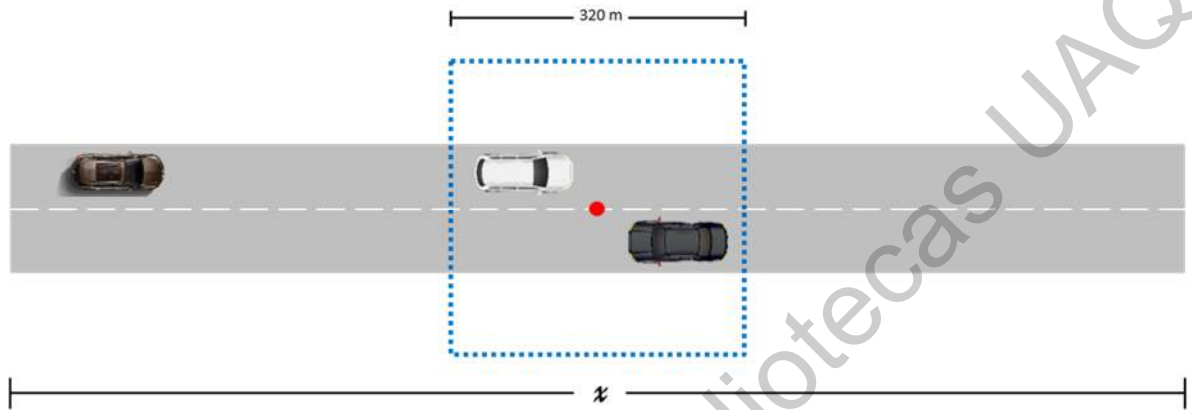


Figura 3-21. Esquema de área de captación del sensor.

Fuente: Elaboración propia.

Todos los vehículos que atraviesen esta área serán detectados y registrados en una base de datos (arreglo). Por consiguiente, se determinó la posible ubicación de sensores en la red, siguiendo lo señalado por Chiu *et al.* (2012). Ellos proponen que cada arco de la red es un candidato para localización e instalación de un sensor. En ese contexto Montoya (2011), realizó una comparación entre metodologías que proponen la ubicación óptima de sensores; observando que la mayoría de éstas ubican los sensores sobre los arcos en vez de nodos. Por lo que, en la presente investigación, se determinó que cada centro de un arco es una posible ubicación de un sensor. Utilizando los datos vectoriales de los arcos que conforman el modelo de microsimulación, se obtuvieron un total de 1,520 ubicaciones donde instalar un sensor (Figura 3-22).

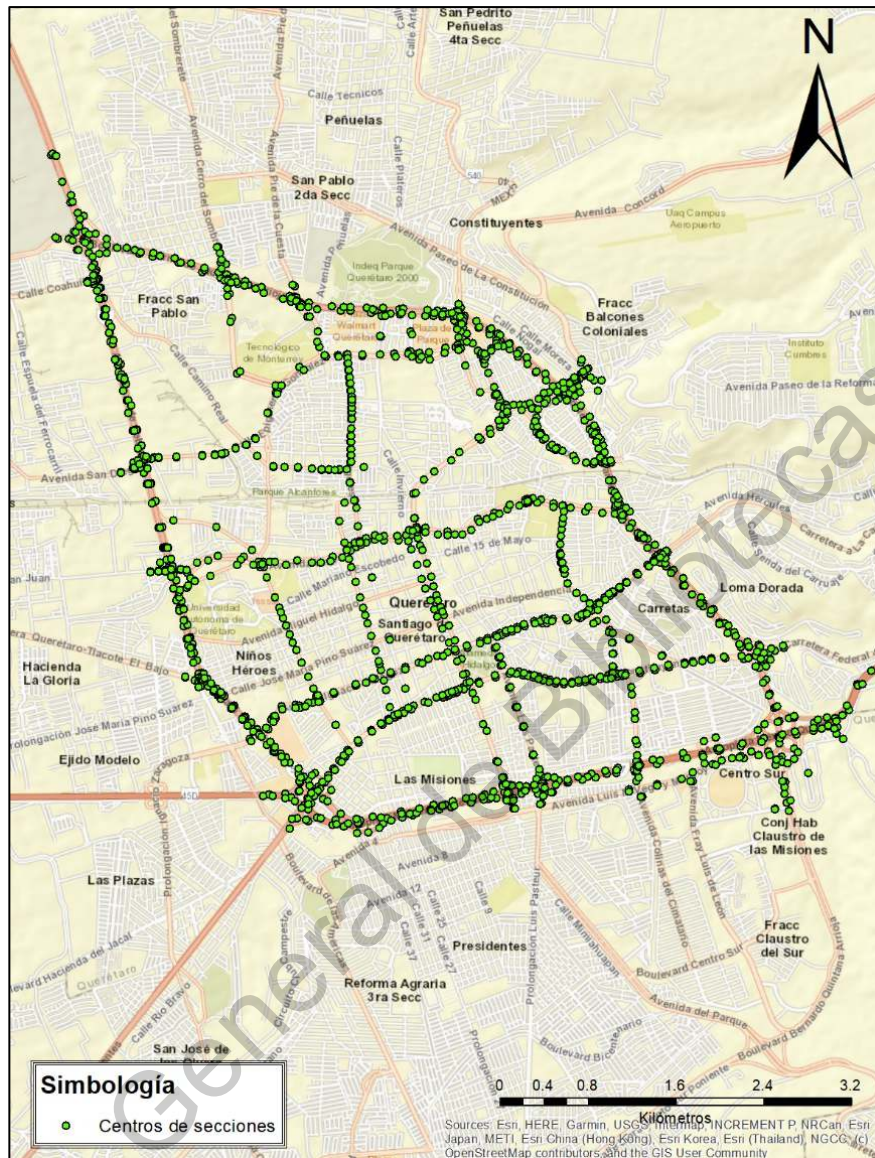


Figura 3-22. Centro de arcos, posible ubicación de sensor.

Fuente: Elaboración propia.

Dichas ubicaciones se redujeron al considerar solo aquellos arcos que tengan una longitud mayor a 100 metros, lo que elimino aquellos arcos demasiado pequeños que solo sirven como conexión entre vialidades. Existen un total de 612 arcos que tienen una longitud mayor a 100 metros, las cuales se pueden observar en la Figura 3-23.

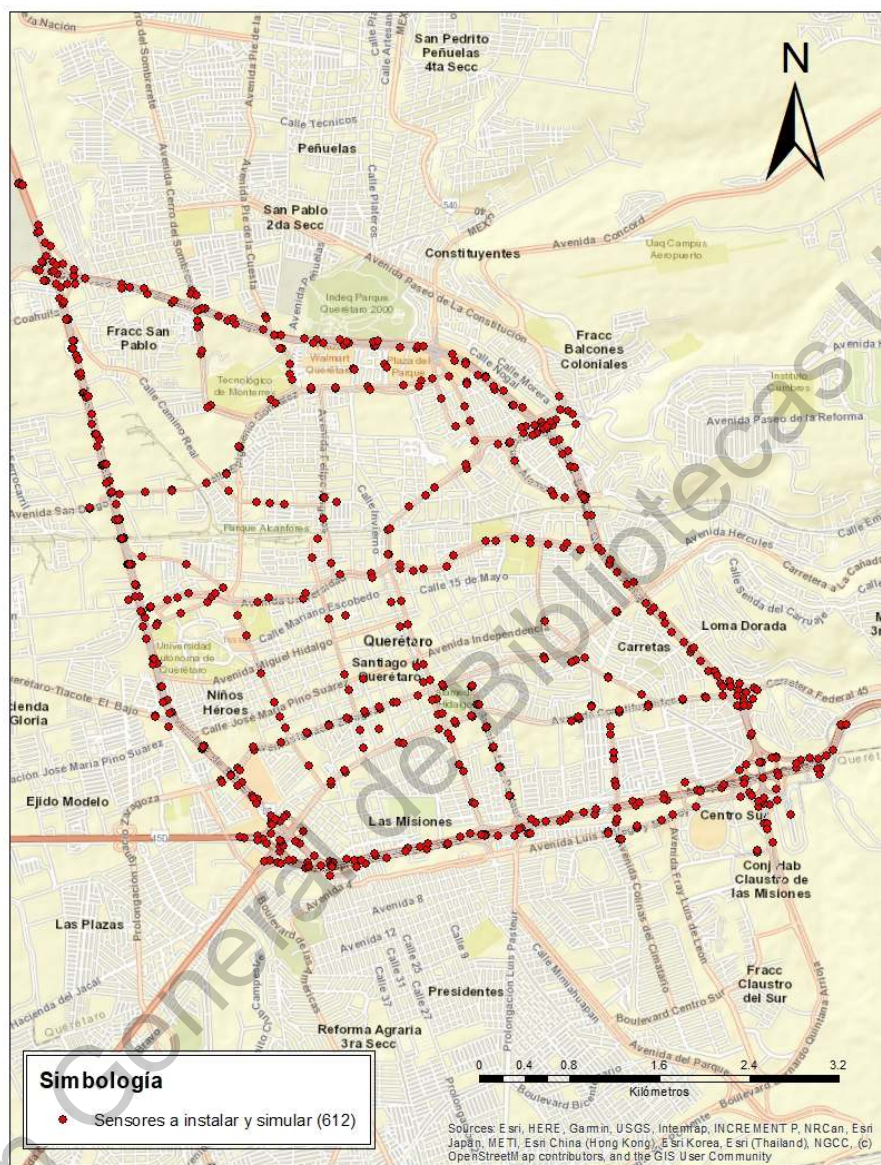


Figura 3-23. Ubicaciones de sensores RFID simulados.

Fuente: Elaboración propia.

A cada una de estas ubicaciones, se le cálculo su área de captación, recordando que se representa por un cuadrado de 320x320 metros. Para dicho calculo, se considera la coordenada central de los 612 arcos, y se obtiene la coordenada X e Y superior e inferior, con las que se construyen las siguientes variables:

minX[1] = 356389;
minX[2] = 356327;
minX[3] = 353524;
minX[4] = 353524;
minX[5] = 356187;
minX[6] = 355173;
minX[7] = 356591;
maxX[1] = 356709;
maxX[2] = 356647;
maxX[3] = 353844;
maxX[4] = 353844;
maxX[5] = 356507;
maxX[6] = 355493;
maxX[7] = 356911;
minY[1] = 2276956;
minY[2] = 2276006;
minY[3] = 2278765;
minY[4] = 2278769;
minY[5] = 2279588;
minY[6] = 2280036;
minY[7] = 2276481;
maxY[1] = 2277276;
maxY[2] = 2276326;
maxY[3] = 2279085;
maxY[4] = 2279089;
maxY[5] = 2279908;
maxY[6] = 2280356;
maxY[7] = 2276801;

Estas variables “maxX”, “minX”, “maxY” y “minY” son variables tipo arreglo. En este caso los arreglos para cada variable son de una dimensión, a esta dimensión se le asigna el identificador del sensor que se encuentre en el rango de coordenadas.

Otro proceso de la rutina API, fue eliminar la duplicación de registros, esto se logró al hacer que cada sensor solo registrase un vehículo una vez. La duplicación de registros se genera debido a que los vehículos tardan cierto tiempo en cruzar el área captación y la API se ejecuta cada segundo de la simulación; significando que, si el vehículo tarda 7 segundos en atravesar el área, se tendrían 7 registros del mismo vehículo en el mismo sensor. Es por ello la importancia de aplicar este filtro y evitar una posterior depuración de los datos captados.

La base de datos (arreglo) generada por esta primera rutina, será la principal fuente de análisis con la que se estimará la matriz O-D.

3.6.2 Segunda rutina

Esta rutina tiene dos objetivos, el primero busca estimar una matriz O-D, utilizando los datos obtenidos con la implementación de la rutina descrita en la sección anterior. El primer objetivo es posible gracias a que se tienen todos los *ID* de los vehículos, *ID* del sensor, y el tiempo en que se realizó el registro del vehículo en cada sensor. Al poseer estos tres datos se puede realizar un rastreo de todos los vehículos, lo que implica que se conoce el primer y último registro de cada vehículo dentro de la red. Teniendo en cuenta que, el primer registro del vehículo equivale al punto de origen del viaje, mientras que el último registro representa el destino. Por ejemplo, si el primer registro del vehículo 4213 fue en el sensor 36 y el último registro en el sensor 214; entonces se determina el par origen-destino es $S_{36} \rightarrow S_{214}$. Al aplicar este método se obtienen todos los pares O-D, con los cuales es posible generar una matriz O-D.

El segundo objetivo consiste en realizar una comparación entre la matriz O-D estimada y la matriz O-D original. Con el objetivo de validar la precisión de la matriz estimada, tal y como sugiere Abdulhai y Tao (2002). La matriz O-D original, se refiere a la matriz mostrada en la Figura 3-16, de donde se obtuvo la demanda de tráfico ingresada a la simulación.

Sin embargo, la matriz O-D estimada no pudo ser comparada con la matriz original, ya que ambas matrices poseen cantidades distintas de pares O-D. Esto se debe a que, la matriz estimada con la simulación se encuentra a nivel sensor, mientras que la matriz original es a nivel centroide, como se mencionó en la sección 3.3.3. La solución propuesta para lograr la comparación, consiste en realizar una vinculación, que asigne la información de flujos vehiculares captados por los sensores al centroide más cercano, utilizando la Ec. 5; lo cual es viable, pues se conocen las coordenadas X e Y de ambos.

$$Distancia = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2} \quad (\text{Ec. 5})$$

Una vez se logró la vinculación, la matriz O-D estimada posee la misma cantidad de pares origen -destino que la matriz original; lo que permite realizar una comparación entre ambas matrices.

3.6.3 Tercera rutina

Esta última rutina tiene como objetivo determinar que sensores simulados son los que obtienen mayor información, buscado lograr una optimización de recursos. Esta optimización consiste en mantener los sensores que registren la mayor cantidad de flujos vehiculares, eliminando aquellos que aporten poca o nula información. Esta optimización considera una restricción, la cual es que las áreas de captación de los sensores no se superpongan; por ello la distancia entre sensores que se instalen tiene que ser mayor a 500 metros, recordando que en la sección 3.6.1 se mencionó que el área de captación de un sensor es de 320x320 metros (Figura 3-24).

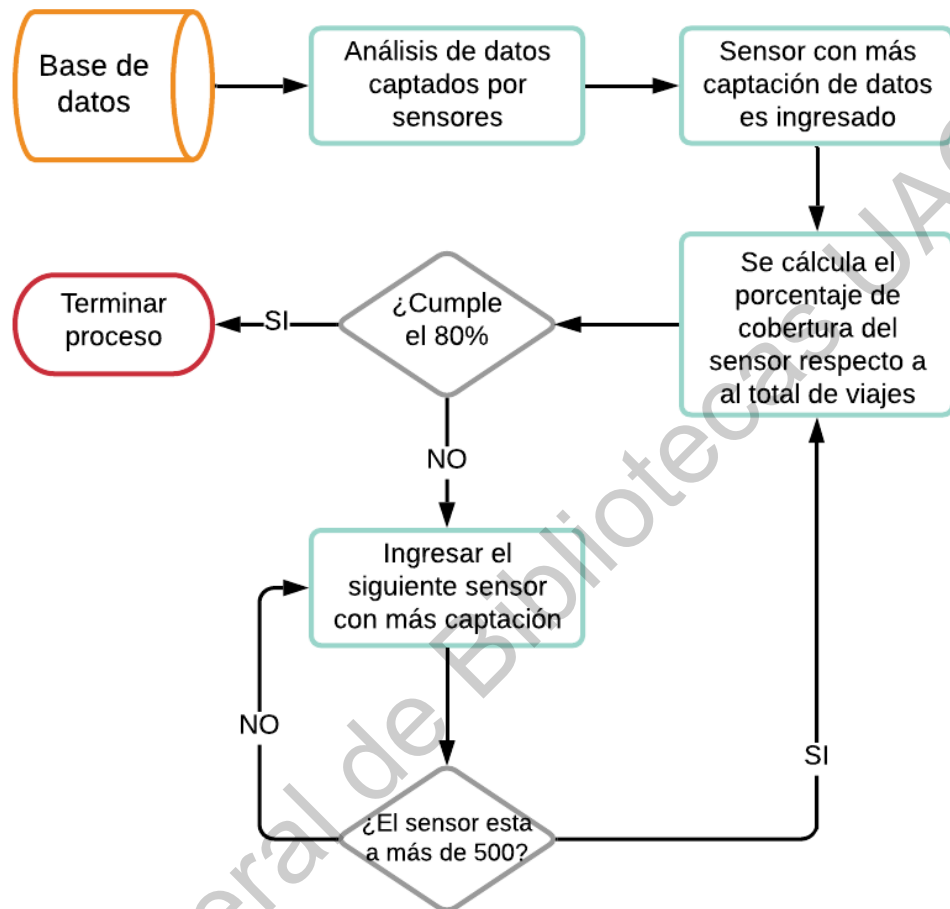


Figura 3-24. Proceso de optimización.

Fuente: Elaboración propia.

Para comprobar que la optimización se haya hecho correctamente se realizó un análisis de sensibilidad entre el número de sensores instalados y el porcentaje de captación de pares O-D, como propone Fei *et al.* (2007).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se presentan los resultados recabados durante el estudio. Primero se muestran los datos obtenidos mediante las simulaciones en el *software* AIMSUN; seguido del resultado de validación de la simulación; y finalmente los resultados de aplicar las rutinas que conforman el algoritmo para estimar una matriz O-D, que contenga al menos el 80% de los orígenes-destinos.

4.1 Resultados de la simulación microscópica de la red

A continuación, se expone la asignación de vehículos realizada en el escenario dinámico dentro en AIMSUN, en dicha simulación se usaron los modelos microscópicos y un método de asignación de elección estocástica de rutas. Los modelos microscópicos de simulación examinan a cada vehículo por separado, lo que permite conocer el comportamiento individual de cada vehículo con respecto a los demás vehículos y a los controles vehiculares existentes (semáforos).

En la Tabla 4-1, se muestran los resultados de la simulación del modelo de pruebas.

Tabla 4-1. Resultados de la simulación para el modelo de asignación

Serie Temporal	Valor	Desviación Estándar	Unidades
Cola virtual máxima	0	ND	vehs
Cola virtual media	0	ND	vehs
Densidad	26.95	ND	veh/km
Distancia total recorrida	105383.56	ND	km
Flujo	50137	ND	veh/h
Longitud media de en cola	10136.89	ND	vehs
Número de paradas	4.79	ND	
Tiempo de demora	234.93	215.1	seg/km
Tiempo de parada	208.73	210	seg/km
Tiempo de viaje	333.45	43	seg/km
Tiempo total de viaje	8602.83	216.43	h
Vehículos dentro	346	ND	vehs
Vehículos errantes dentro	5	ND	vehs
Vehículos errantes fuera	382	ND	vehs
Vehículos esperando para entrar	312	ND	vehs
Vehículos fuera	50137	ND	vehs
Velocidad	32.4	14.92	km/h
Velocidad harmónica	30.12	10.8	km/h

Fuente: Elaboración propia.

Adaptado: AIMSUN.

En esta tabla la variable que más destaca es el Flujo, la cual representa el total de vehículos que circularon por las vialidades del modelo de prueba. En esta simulación el flujo total es de 50,137 veh/h; teniendo en consideración que la matriz de viajes contiene un total de 51,182 vehículos, significa que el 97% de los vehículos completaron su viaje. La pérdida de los 1,043 vehículos, se debe a los vehículos errantes que perdieron su ruta durante la simulación y a los vehículos que no lograron completar su viaje por motivos de congestionamiento.

Otra variable de importancia es el tiempo promedio de viaje, el cual se considera un vehículo transitando por un kilómetro dentro de la red, para esta simulación dicho valor es 333.45 seg/km. Es decir, un vehículo tarda en recorrer un kilómetro en aproximadamente 5.55 minutos.

En la Figura 4-1 es posible observar en distintos colores el flujo en los arcos más utilizados por los automóviles para circular. Siendo el verde el color para las vialidades con menor flujo y el rojo para las vialidades con mayor flujo.

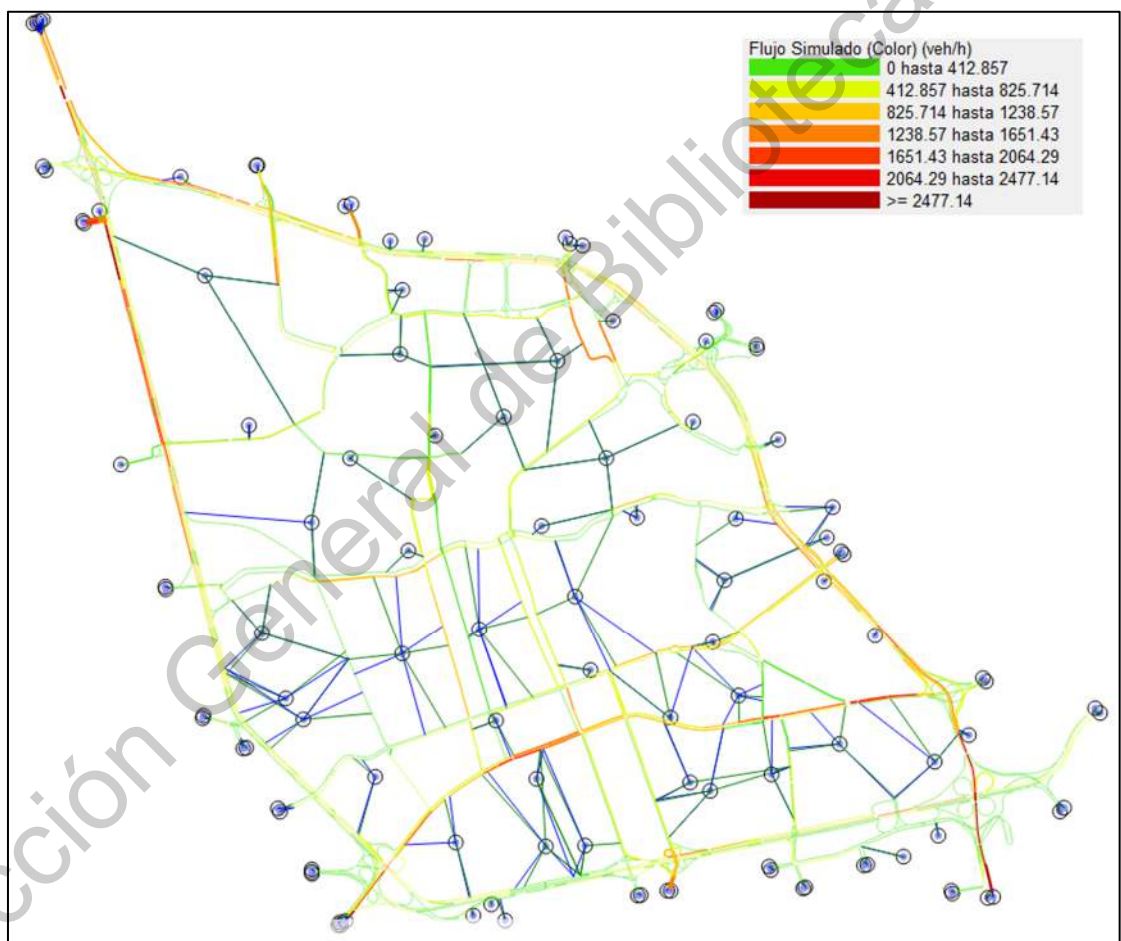


Figura 4-1. Flujos de vehículos simulados con el método estocástico de asignación.

Fuente: Elaboración propia.

Después de analizar los resultados de la microsimulación se confirmó que el modelo generado se calibró correctamente; lo que permite que los datos obtenidos

a través de este modelo sean una representación de la realidad, lo que lo vuelve un excelente campo de pruebas para comprobar el algoritmo desarrollado en esta investigación.

4.2 Resultados de la validación del modelo de microsimulación

Para realizar la calibración del modelo se utilizaron los flujos vehiculares, por lo que es necesario tener dos conjuntos de datos. El primer conjunto contiene la media de flujos estimados durante diez replicaciones de la simulación, en estas replicaciones la semilla aleatoria del comportamiento estocástico para la asignación cambia. El segundo conjunto representa flujos reales obtenidos mediante aforos vehiculares. Una vez se tuvieron ambos conjuntos de datos se realizó una comparación entre ambos. Dicha comparación se realizó con dos métodos, calculando el GEH y mediante modelo de regresión.

4.2.1 Cálculo de GEH

El GEH es una estadística utilizada en la ingeniería de tráfico para comparar dos conjuntos de datos, y se calcula como se muestra en la Ec. 6.

$$GEH = \sqrt{\frac{2(w - v)^2}{w + v}} \quad (\text{Ec. 6})$$

donde w y v son los flujos estimados y reales, respectivamente. Para que la simulación presente una calibración adecuada, el GEH debe ser menor a 5 (Ruiz de Villa *et al.*, 2014 y Shaw *et al.*, 2014).

En la Tabla 4-2, se observan los resultados de calcular el GEH, considerando veinte puntos donde se conoce el flujo vehicular real.

Tabla 4-2. Resultados del cálculo de GEH

Detector	Valor observado	Valor estimado	GEH
1	1305	1152	4.3651
2	879	681.67	7.0642
3	1609	1471	3.5166
4	1368	1220.3	4.1048
5	540	663.5	5.0345
6	551	481.67	3.0512
7	372	289	4.5655
8	522	458	2.8912
9	799	817	0.6332
10	932	919.83	0.3998
11	1017	892.17	4.0404
12	765	734.5	1.1139
13	462	385.33	3.7247
14	1726	1621.7	2.5502
15	396	333.5	3.2725
16	1390	1329.3	1.6453
17	1029	849.83	5.8456
18	868	731.67	4.8206
19	297	196.33	6.4096
20	823	677.67	5.3056
MEDIA	882.5	795.3	4.645

Fuente: Elaboración propia

Gracias a la tabla anterior se observa que la media del GEH de todos los puntos analizados es de 4.645, siendo menor a 5 como se mencionó en la sección 3.5, por lo que el modelo de microsimulación generado presenta un buen ajuste.

4.2.2 Modelo de regresión

Esta técnica estadística es utilizada para estudiar la relación entre variables, en este caso los flujos vehiculares estimados y reales. Dicha técnica se presenta en forma de gráfico, en el cual se puede observar la dispersión de los datos, y que permite cuantificar el grado de relación lineal existente; basta con observar el grado en el que la nube de puntos se ajusta a la línea recta.

En la figura, se presenta la regresión lineal realizada para el conjunto de datos estimados contra el conjunto de datos reales.

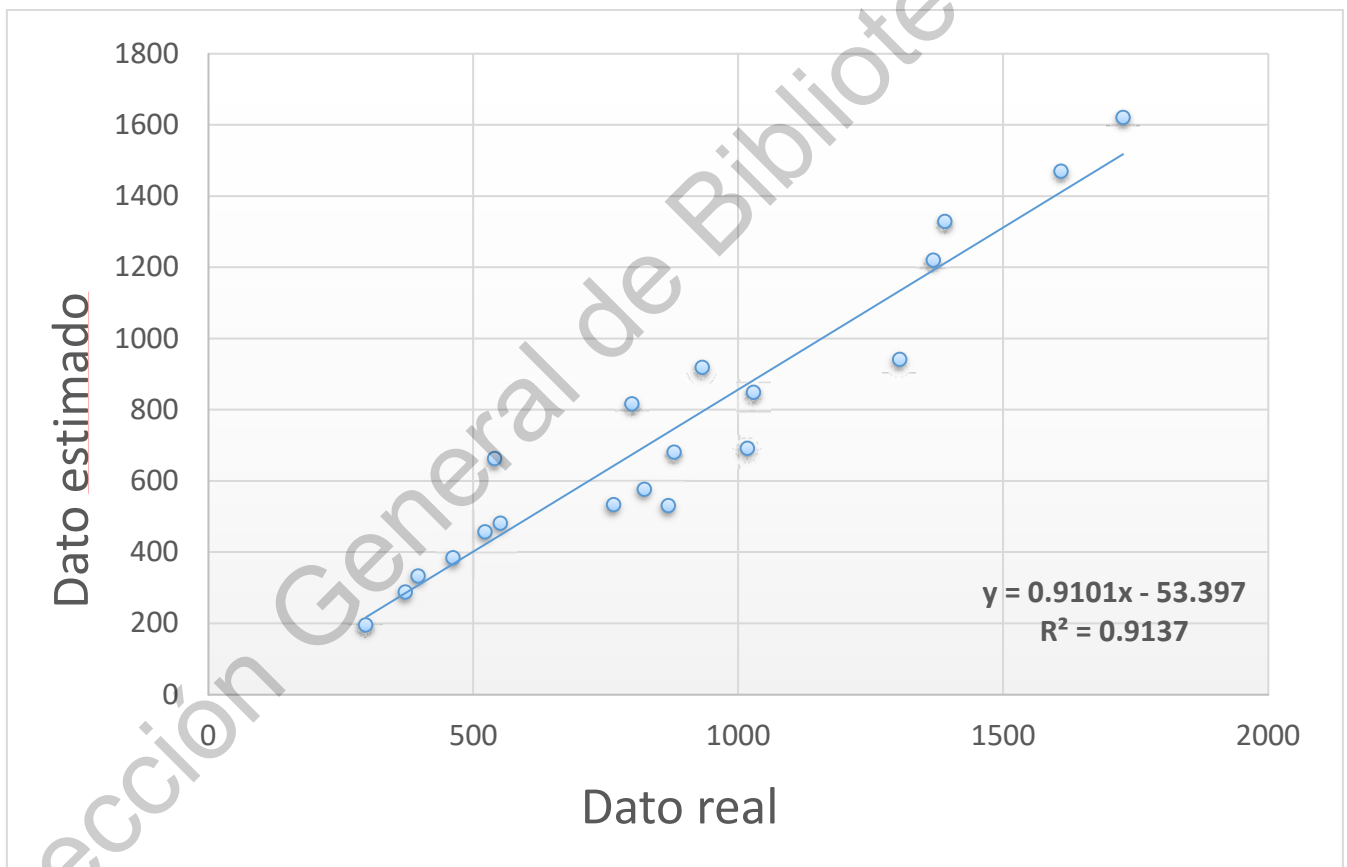


Figura 4-2. Dispersión de flujo vehicular

Fuente: Elaboración propia.

El eje vertical muestra las 20 ubicaciones donde se estimó el flujo vehicular mediante la microsimulación, y el eje horizontal el flujo vehicular obtenido mediante

aforos en esas mismas 20 ubicaciones. A simple vista, parece existir una buena correlación entre ambos conjuntos de datos, pues se observa que la mayor cantidad de puntos se ajustan a la recta, la cual se expresa matemáticamente mediante la Ec. 7.

$$y = 0.9101x - 53.397 \quad (\text{Ec. 7})$$

También se obtuvo el coeficiente de determinación R^2 , el cual representa el coeficiente de correlación múltiple. Al tratarse de una medida estandarizada toma valores entre 0 y 1, siendo 1 una relación perfecta. La R^2 para este modelo de regresión es de 0.9137, indicando que la relación entre flujos estimados y reales es adecuada.

4.3 Resultados de la primera rutina del algoritmo

Como se mencionó en la sección 3.6.2, se determinaron 612 ubicaciones donde se instalan los sensores. El resultado de aplicar el código API durante la simulación permitió crear una base de datos, parte de la información es mostrada en la Tabla 4-3. La base de datos completa contiene un total de 107,583 registros, lo que dificulta anexar dicha información a este trabajo. El código de la rutina se encuentra en el Apéndice 7.3.

Tabla 4-3. Extracto de la base de datos obtenida con la rutina API.

Hora de simulación	No. Sensor	ID vehículo	Tiempo de simulación
16:31:58 / 08:29:59.000	Sensor: 166	ID VEH: 36672	TIEMPO: 4199.000000
16:31:58 / 08:29:59.000	Sensor: 93	ID VEH: 39097	TIEMPO: 4199.000000
16:31:58 / 08:29:59.000	Sensor: 95	ID VEH: 39097	TIEMPO: 4199.000000
16:31:58 / 08:29:59.000	Sensor: 105	ID VEH: 39097	TIEMPO: 4199.000000
16:31:58 / 08:29:59.000	Sensor: 125	ID VEH: 39097	TIEMPO: 4199.000000
16:31:58 / 08:29:59.000	Sensor: 402	ID VEH: 39375	TIEMPO: 4199.000000
16:31:58 / 08:29:59.000	Sensor: 96	ID VEH: 39612	TIEMPO: 4199.000000
16:31:58 / 08:29:59.000	Sensor: 135	ID VEH: 39612	TIEMPO: 4199.000000
16:31:58 / 08:29:59.000	Sensor: 228	ID VEH: 37963	TIEMPO: 4199.000000
16:31:58 / 08:29:59.000	Sensor: 471	ID VEH: 35120	TIEMPO: 4199.000000
16:31:58 / 08:29:59.000	Sensor: 205	ID VEH: 35308	TIEMPO: 4199.000000
16:31:58 / 08:29:59.000	Sensor: 126	ID VEH: 30693	TIEMPO: 4199.000000
16:31:58 / 08:29:59.000	Sensor: 408	ID VEH: 35954	TIEMPO: 4199.000000
16:31:58 / 08:29:59.000	Sensor: 202	ID VEH: 33496	TIEMPO: 4199.000000
16:31:58 / 08:29:59.000	Sensor: 221	ID VEH: 33496	TIEMPO: 4199.000000
16:31:58 / 08:29:59.000	Sensor: 131	ID VEH: 31011	TIEMPO: 4199.000000
16:31:58 / 08:29:59.000	Sensor: 603	ID VEH: 28647	TIEMPO: 4199.000000
16:31:58 / 08:29:59.000	Sensor: 609	ID VEH: 28647	TIEMPO: 4199.000000
16:31:58 / 08:29:59.000	Sensor: 396	ID VEH: 30691	TIEMPO: 4199.000000
16:31:58 / 08:29:59.000	Sensor: 106	ID VEH: 29304	TIEMPO: 4199.000000
16:31:58 / 08:29:59.000	Sensor: 208	ID VEH: 37045	TIEMPO: 4199.000000
16:31:58 / 08:29:59.000	Sensor: 267	ID VEH: 27874	TIEMPO: 4199.000000
16:31:58 / 08:29:59.000	Sensor: 303	ID VEH: 28495	TIEMPO: 4199.000000
16:31:58 / 08:29:59.000	Sensor: 557	ID VEH: 37973	TIEMPO: 4199.000000
16:31:58 / 08:29:59.000	Sensor: 99	ID VEH: 39378	TIEMPO: 4199.000000

Fuente: Elaboración propia.

Como se mencionó en la sección 3.6.1, se aplicó un filtro para que cada sensor solo detectase una vez el mismo vehículo. Dicho filtro permitió eliminar un total de 723,322 registros duplicados, es decir, el 87.05% de los datos. Para comprender mejor la efectividad del filtro se presenta el análisis de los registros de 10 sensores, seleccionados aleatoriamente.

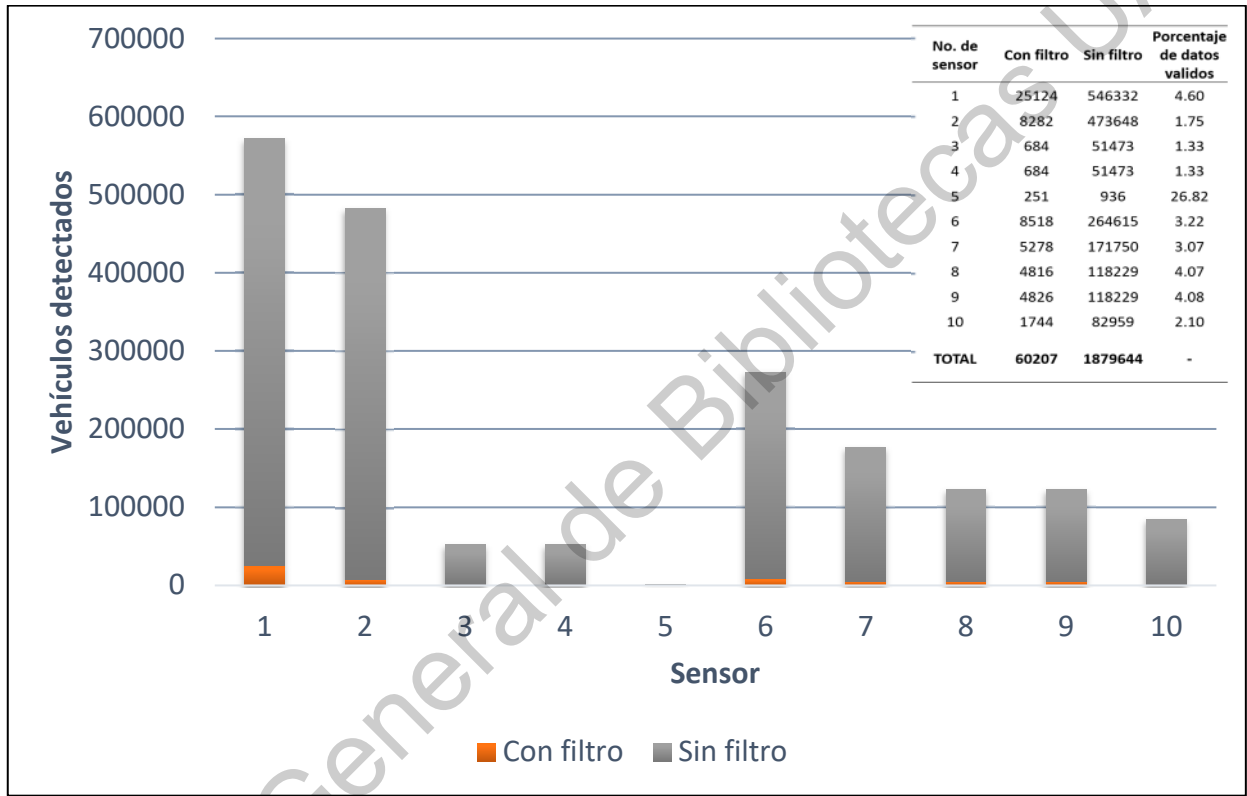


Figura 4-3. Vehículos detectados, 10 sensores.

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Figura 4-3, la cantidad de vehículos que se registrarían sin aplicar el filtro rebasa el 90% de los datos en la mayoría de los casos. Teniendo cuenta lo anterior la necesidad de un filtro que elimine datos duplicados es esencial para facilitar el manejo de la información. Cabe mencionar que el filtro actual presenta la problemática de que solo funciona para la simulación de tránsito de una sola matriz O-D, es decir, solo considera un viaje por vehículo y el filtro no genera problema. Sin embargo, si se considerará más de un viaje realizado por el mismo

vehículo, no se realizará el rastreo del este nuevo viaje, al menos que transitará por sensores que no lo hayan registrado previamente. Una solución a este problema sería agregar una condición dentro del código, donde se reiniciará el filtro en un tiempo determinado.

4.4 Resultado de segunda rutina del algoritmo

Al aplicar la segunda rutina se analizaron y procesaron 107,583 registros que componen la base de datos, mostrada en la sección 4.3. Obteniendo todos los pares O-D de los vehículos simulados; parte de dichos resultados pueden observar en la Tabla 4-4.

Tabla 4-4. Extracto de los pares O-D generados con la rutina.

Sensor de Origen	Viajes registrados	Sensor de Destino	Viajes registrados
5057	42	5057	0
1170	7	1170	0
1806	2	1806	0
1050	29	1050	0
1409	7	1409	5
1599	4	1599	0
1463	3	1463	4
1794	13	1794	0
1578	101	1578	0
1239	11	1239	0
1120	31	1120	0
1186	19	1186	0
1827	89	1827	0
880	8	880	0
852	23	852	0
23332	2	23332	0
1485	2	1485	0
495	15	495	0

Fuente: Elaboración propia.

Se verifico que el total registro de viajes generados y atraídos sean iguales, pues no es posible que aparezcan o desaparezcan viajes en la red. Todos los registros de pares O-D que se determinaron mediante la rutina se presentan en el Apéndice 7.4. El código fuente de esta rutina se anexa en el Apéndice 7.5.

Estos pares O-D representan el total de viajes de 50,137 vehículos, es decir, se logró la captación del 97% de vehículos contenidos en la matriz O-D original. Lo que concuerda con los resultados de la simulación mostrados en la sección 4.2. Esto es razonable, ya que la cantidad de sensores simulados cubren en su totalidad toda la red, impidiendo perdida de información (Figura 4-4).

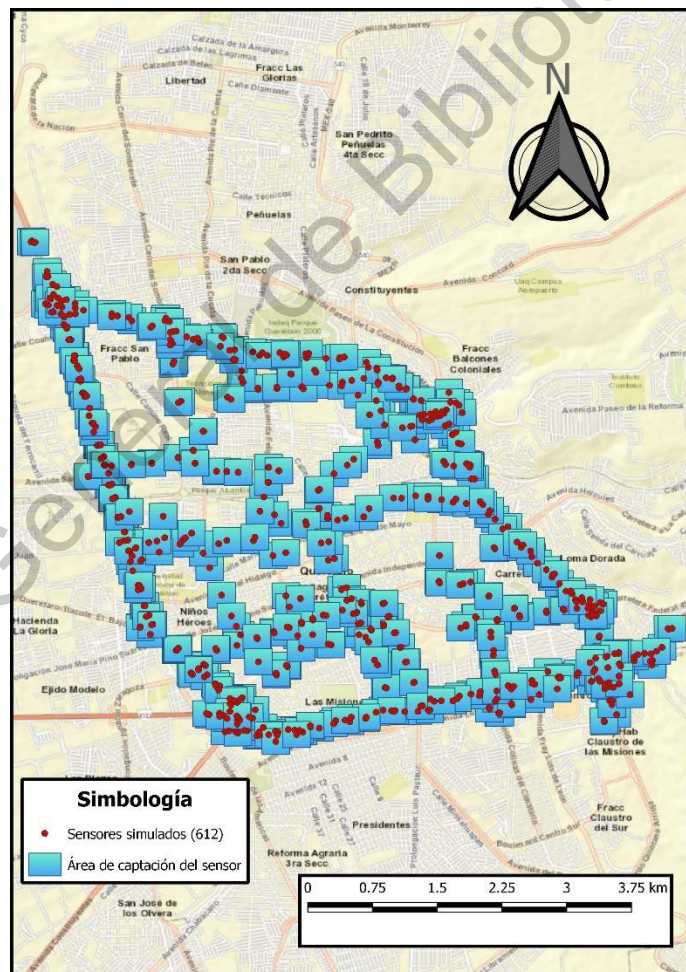


Figura 4-4. Cobertura total de la red por el área de captación de los sensores.

Fuente: Elaboración propia.

Estos datos demuestran que, hasta este punto la metodología propuesta cumplió el objetivo de la investigación, es decir, se logró captar más del 80% de los orígenes-destinos, los cuales permiten generar la matriz O-D mostrada en la Figura 4-5. El siguiente paso es optimizar el número de sensores instalados, aplicando la tercera rutina del algoritmo.

	7973	7974	7975	7976	7977	7978	7979	7980	7981	7982	7983	7984
7973	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00
7974	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7975	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7976	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7977	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7978	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7979	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7980	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7981	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7982	924.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7983	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7984	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7985	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7986	0.00	0.00	0.00	0.00	154.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7987	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7988	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7989	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7990	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7991	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7992	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7993	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7994	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7995	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7996	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7997	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7998	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7999	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	0.00	0.00
8001	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8002	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
8003	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Figura 4-5. Matriz O-D estimada, mediante pares O-D.

Fuente: Elaboración propia.

Otro uso a la información captada por los sensores, es realizar el seguimiento (rastreo) al viaje de los vehículos que transitan por la red, con el objetivo de obtener los tiempos de recorrido de rutas específicas, como se observa en la Figura 4-6.

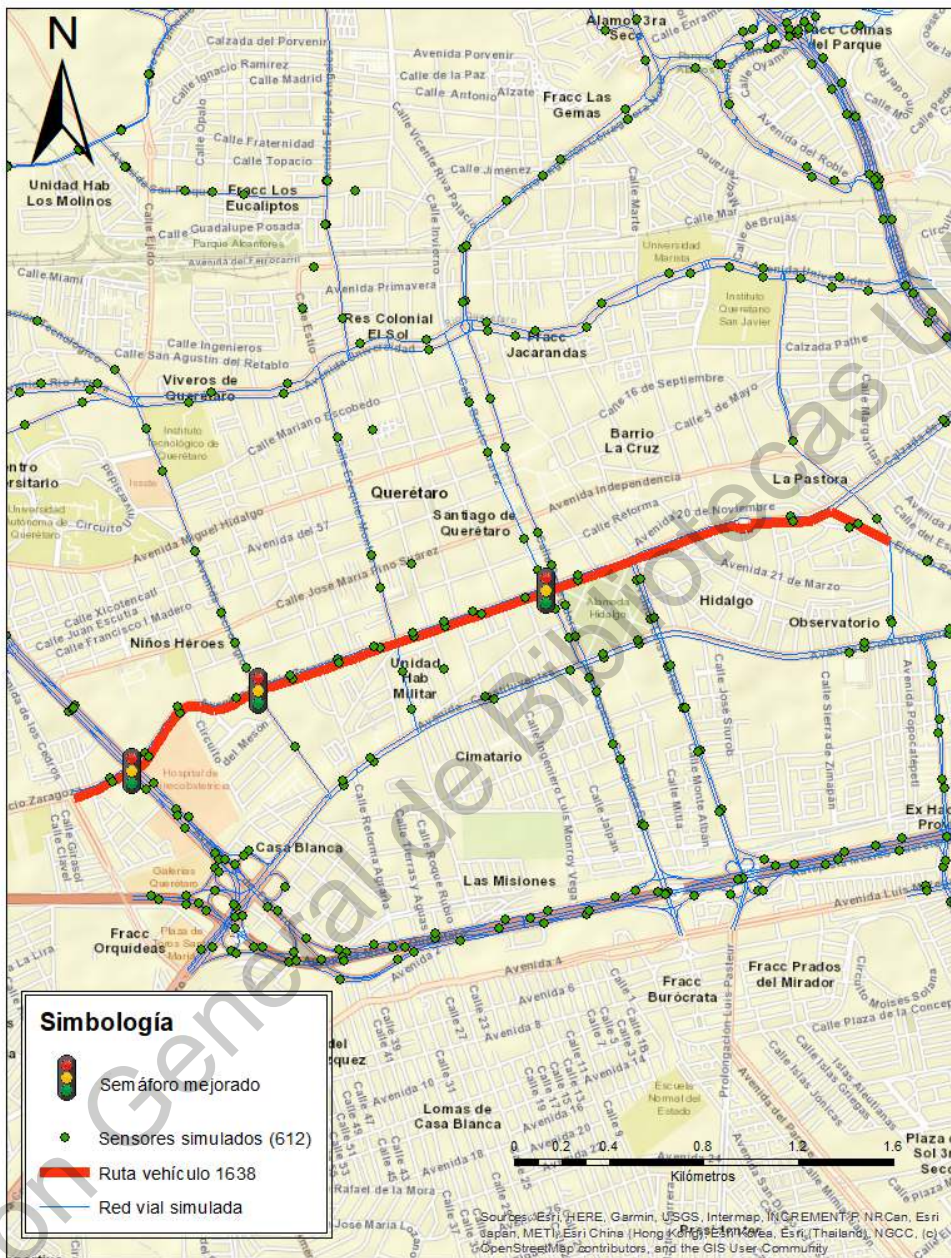


Figura 4-6. Ruta del vehículo 1638.

Fuente: Elaboración propia.

Esta información es útil cuando se desea conocer si la implementación de alguna mejora fue funcional o no en la gestión del tráfico. Por ejemplo, en el caso de realizar una mejora en los semáforos en Avenida Zaragoza, se realiza el seguimiento de un vehículo que circule en dicha vialidad antes y después de haber

implementado la mejora; donde los resultados son dos tiempos de viaje, los cuales son comparados para conocer si las demoras disminuyeron o por el contrario no resulto como se planeó.

Posteriormente, se realizó la vinculación de los sensores hacia el centroide más cercano. En la

Tabla 4-5 se presenta una parte de los resultados del proceso de vinculación, la información completa se anexa en el Apéndice 7.

Tabla 4-5. Extracto de la vinculación entre sensores y centroides.

5057	vinculado con	Centroide	22908
1170	vinculado con	Centroide	22805
1806	vinculado con	Centroide	22888
5813	vinculado con	Centroide	22888
5517	vinculado con	Centroide	22849
1050	vinculado con	Centroide	22896
1409	vinculado con	Centroide	22874
1599	vinculado con	Centroide	22901
5786	vinculado con	Centroide	22901
1463	vinculado con	Centroide	22882
1503	vinculado con	Centroide	22892
1794	vinculado con	Centroide	22898
1578	vinculado con	Centroide	22883
1239	vinculado con	Centroide	22843
1120	vinculado con	Centroide	22802
1186	vinculado con	Centroide	22902
23248	vinculado con	Centroide	22910
495	vinculado con	Centroide	22843

Fuente: Elaboración propia.

Antes de realizar la vinculación la matriz O-D estimada con la rutina poseía un total de 219 pares origen-destino, mientras que la matriz O-D original solo tiene 111; una vez aplicada la vinculación ambas matrices cuentan con el mismo número.

La vinculación de un centroide puede ser hacia varios sensores, por lo que lo que los viajes de los sensores que se encuentren aun mismo centroide se suman. Siguiendo este principio se logró generar una matriz O-D, que pudiera ser comparada con la matriz original. Para dicha comparación entre matrices se ordenaron los datos, tal y como se muestran en la Tabla 4-6. El resto de información se presenta en el Apéndice 7.7.

Tabla 4-6. Extracto de valores para comparación de matrices.

Centroide	Matriz O-D original		Matriz O-D estimada	
	Viajes generados	Viajes atraídos	Viajes generados	Viajes atraídos
22799	30	45	186	0
22800	66	0	48	1
22801	0	222	0	0
22802	69	5	85	38
22803	103	0	0	72
22804	51	0	3	2
22805	0	0	41	2
22806	0	0	31	9
22807	26	2	0	0
22808	0	0	30	32
22809	0	58	10	3
22810	0	241	0	0
22812	0	0	0	0
22813	0	101	0	0
22814	209	0	221	42
22815	0	37	0	0
22816	9	0	0	67

22817	0	240	8	0
22818	0	85	0	0
22819	3	0	32	0

Fuente: Elaboración propia.

Al tener los datos ordenados de esta forma, se vuelve sencillo realizar un análisis estadístico entre los conjuntos de datos. El primer análisis de regresión se aplica a los datos de viajes generados de ambas matrices; el resultado se puede observar en la Figura 4-7.

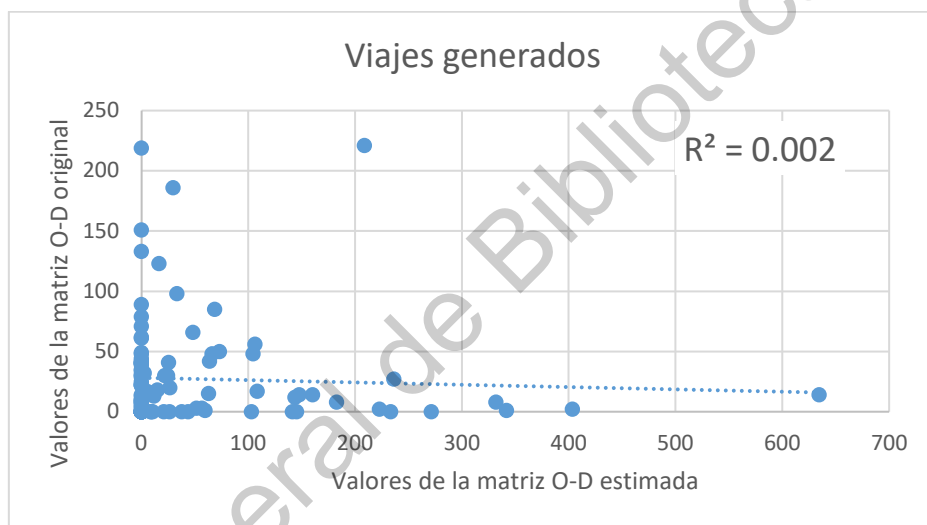


Figura 4-7. Resultado del modelo de regresión aplicado a los viajes generados.

Fuente: Elaboración propia.

El mismo método de análisis se emplea para los datos de viajes atraídos, los resultados del modelo de regresión se muestran en la Figura 4-8.

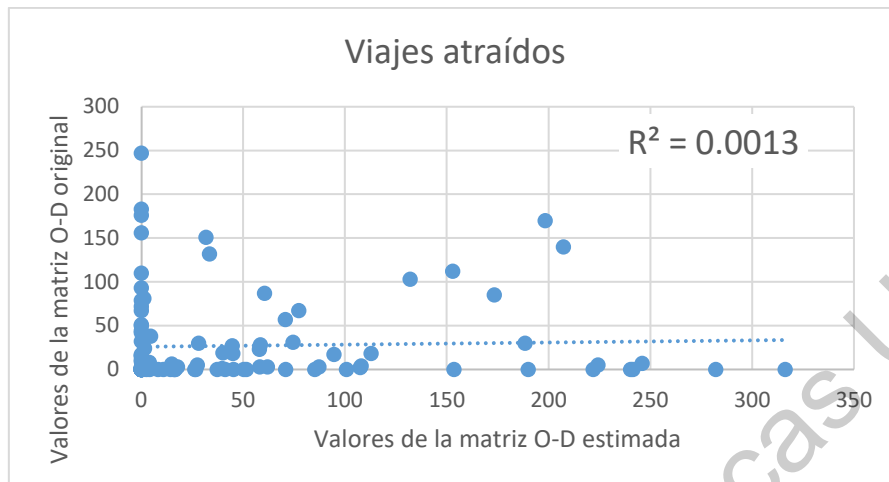


Figura 4-8. Resultado del modelo de regresión aplicado a los viajes atraídos.

Fuente: Elaboración propia.

Al observar los diagramas de dispersión, es claro que no existe un ajuste entre los datos reales y estimados, lo cual indica que no fue posible generar una matriz O-D con las mismas dimensiones que la matriz original. Esta gran diferencia se comprueba al analizar la R^2 para ambos modelos, el modelo de regresión de viajes generados presenta una $R^2 = 0.002$ y el modelo de viajes atraídos una $R^2 = 0.0013$; ambas R^2 son menores a 0.80.

Teniendo en cuenta los resultados presentados en secciones anteriores:

- Una calibración adecuada;
- El modelo simuló el 97% de los vehículos contenidos en la matriz O-D original;
- Considerar 612 sensores, permitió el registro de todos los vehículos simulados;
- Los pares O-D estimados a nivel sensor, contienen el 100% del flujo vehicular simulado;

el error al estimar la matriz O-D con las mismas dimensiones que la matriz O-D original, se atribuye al método de vinculación propuesto en la sección 3.6.2. Este método no fue el adecuado para agrupar la información de cada sensor a un

centroide, generado un error acumulado que resultó en una mala replicación de la matriz O-D original. Es necesario desarrollar otro método que permita vincular los flujos vehiculares registrados por los sensores a los centroides de la matriz O-D original.

4.5 Resultados de la tercera rutina del algoritmo

Después de haber aplicado la rutina de optimización, se determinaron 86 sensores que cumplen los criterios de distancia y de cobertura del 80% de los pares O-D. En la Figura 4-9, se presenta un mapa con la ubicación de dichos sensores, mientras en la Tabla 4-7 se observa una parte de las coordenadas UTM e *ID* de los 86 sensores, el resto de información se anexa en el Apéndice .

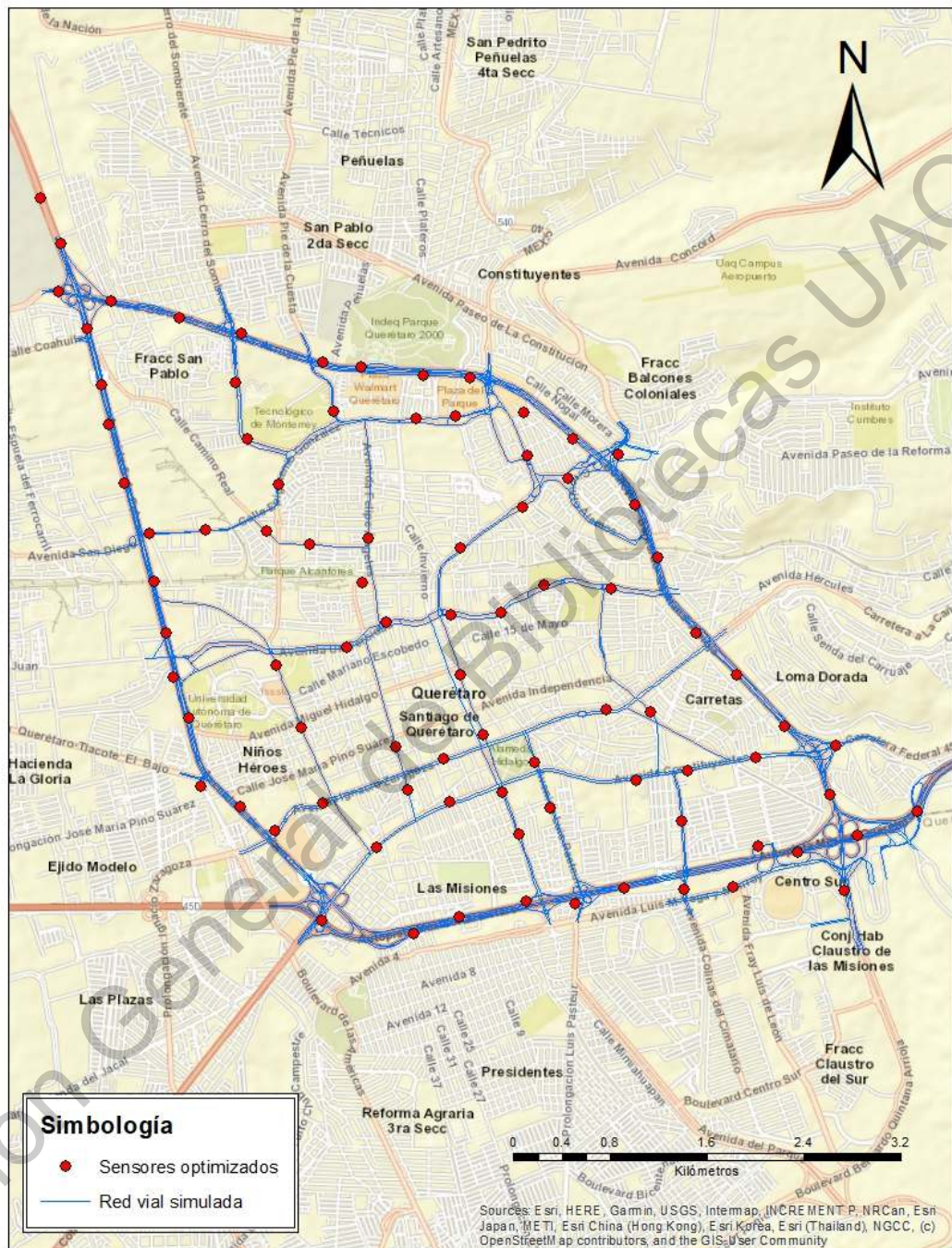


Figura 4-9. Sensores optimizados.

Fuente: Elaboración propia.

Estos 86 sensores, son capaces de capturar el 80% de los pares origen-destino, lo que representa un total de 40,110 vehículos simulados.

Tabla 4-7. Coordenada UTM e *ID* de los sensores.

ID del sensor	Coordenada X	Coordenada Y
19269	353396.0114	2276559.6510
1098	354236.7597	2276419.9740
1578	355274.9959	2276876.0310
734	355535.4346	2277126.2200
1827	352497.7553	2278194.7270
1711	352781.7673	2276931.4530
1435	352351.5648	2279008.0550
625	354839.0462	2276794.3310
562	353104.7203	2276758.3800
504	352391.4177	2278618.9900
891	355872.6453	2275959.2720
1223	355669.8298	2276746.4580
561	354999.2547	2280300.3330
1332	353114.9193	2280658.9880
1120	351846.2965	2280702.0990
474	353790.0750	2280425.5920
1340	357205.4787	2277850.4630
843	355115.7357	2277351.1910
673	356168.1794	2278560.8610
1817	356494.3057	2277544.8200
1035	355851.9491	2279796.5060
1735	352816.4258	2279040.5270
1051	352021.7108	2279908.2230
901	356128.1027	2277556.0250
1470	354925.2266	2278890.1100
1755	353071.6624	2280255.4960
367	351964.7813	2280242.4400
1138	355476.4732	2279658.7710
689	356365.5105	2279254.4370
1033	354847.6541	2278338.6700
1186	357599.6288	2277422.7290

Fuente: Elaboración propia.

Utilizando estos datos se realizó el análisis de sensibilidad, generando el gráfico mostrado en la Figura 4-10. Dicho análisis permitió analizar el valor marginal, en términos de cobertura, que implica el agregar un sensor extra a la red vial. Es

decir, como aumenta el nivel de cobertura al agregar los datos captados por cada sensor. Además, se demuestra la importancia de la localización de cada sensor instalado en la red vial, pues cada uno provee información de distinto valor que se acumula conforme se agrupan más sensores.

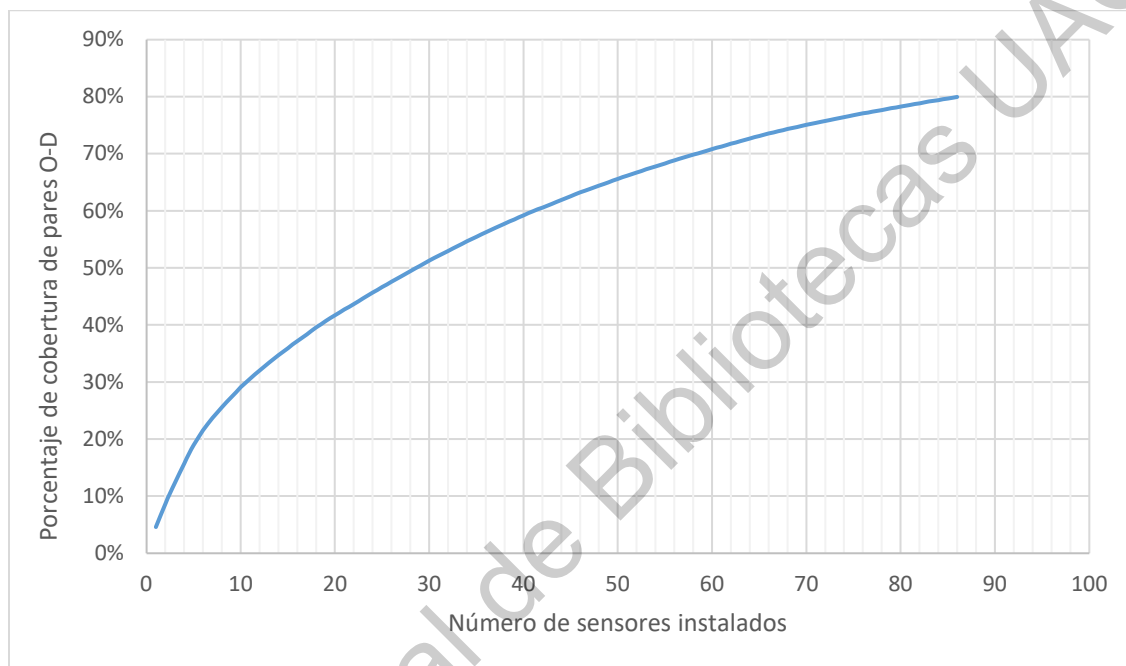


Figura 4-10. Relación entre sensores instalados y porcentaje de cobertura.

Fuente: Elaboración propia.

El valor marginal mencionado se puede apreciar en la Figura 4-10, al comparar el nivel de cobertura que poseen 5 sensores y el nivel de 10 sensores; dicho nivel de cobertura se duplica pasando de 10% a 20%. Mientras que el nivel de cobertura de 40 sensores y el de 50, solo aumenta 7%. Esto se debe a que como se observa en la Figura 4-10, se vuelve cada vez más complicado aumentar el porcentaje de cobertura de pares O-D, por lo que, si el 80% de cobertura se logra con 86 sensores, el 90% necesitaría 560 sensores aproximadamente. Lo que significa hasta cierto punto se vuelve inconveniente captar más datos, ya que se aumenta demasiado la cantidad de sensores necesarios y con ello uso de recursos humanos y económicos.

5. Conclusiones

Los resultados generados al aplicar el algoritmo dentro del modelo de microsimulación, indican que es posible estimar una matriz origen-destino, que contenga al menos el 80% de los pares orígenes-destinos. Lo anterior al considerar la instalación de sensores en ubicaciones específicas, que permitan la mayor captación de información con la menor cantidad de sensores; el proceso de optimización, que permitió determinar dichas ubicaciones, es de gran importancia en la actualidad, pues los recursos humanos y económicos disponibles son cada vez más escasos y/o controlados. En ese contexto, los resultados demuestran que es imposible capturar el 100% de los pares O-D, ya que como se mostró en la Figura 4-4, aun teniendo 612 sensores solo se captó el 97% de pares origen-destino, a pesar de que el área de influencia de estos sensores cubría toda la red vial.

Conocer la red de infraestructura vial de la ciudad es fundamental para la aplicación y desarrollo del algoritmo. Pues es a partir de ésta, se determinan todas las ubicaciones posibles donde instalar los sensores, además la literatura confirma que la mejor posición para colocar un sensor en un arco o un nodo de la red. Asimismo, la red de infraestructura vial, es información esencial para la elaboración del modelo de microsimulación. Este modelo fue un excelente campo de pruebas, donde se realizaron sin número de experimentos que permitieron el desarrollo del algoritmo, así como, obtener datos confiables que fueron procesados y analizados para finalmente estimar una matriz origen-destino que cumpliera el objetivo de esta investigación.

El proceso de comparación propuesto para validar la confiabilidad de la matriz origen-destino estimada no funciona. El problema radica en que la matriz origen-destino estimada y la matriz origen-destino original, tienen dimensiones diferentes, lo que impide realizar una comparación. Para realizar esta comparación se requiere aplicar un proceso de vinculación que agrupe la información de los sensores a los centroides que contiene la matriz original. El método propuesto en este estudio, no cumplió el objetivo, lo cual causó que la matriz estimada no tenga

similitud con la matriz original. Por lo cual es necesario desarrollar nuevas metodologías de vinculación o bien un método de validación que no requiera realizar dicha comparación entre matrices.

Es importante mencionar que el algoritmo desarrollado en la presente tesis, funciona específicamente para la red vial que comprende el modelo de microsimulación. Sin embargo, la metodología desarrollada puede ser replicada en otras ciudades y su red de infraestructura vial, lo que permitiría generar un nuevo algoritmo para cada caso.

Como comentario final, cabe destacar la ventaja que posee un *software* de simulación de tráfico que permita el uso de la API. Éste permite desarrollar rutinas específicas que realicen funciones que el *software* no tiene por defecto. Dichas rutinas fueron esenciales para la recolección y procesamiento de la información utilizada en esta investigación.

5.1 Líneas de investigación futura

Teniendo en cuenta los resultados y alcances de la presente investigación, se determinaron cuatro líneas de investigación futura:

1. Debido a la diferencia entre magnitudes de la matriz estimada y matriz original, no fue posible verificar la precisión de la matriz origen-destino replicada. El siguiente paso es desarrollar un método que permita realizar dicha validación. Pues en caso contrario, no es posible conocer el grado de la confiabilidad de la matriz O-D estimada, lo cual puede generar problemáticas si se llegara a usar en la gestión de tráfico.
2. Considerar la relación entre la posición inicial de los sensores y la variación de esta con la cantidad y significancia de los datos recolectados, puede permitir el desarrollo de un nuevo método de optimización para los sensores.

3. El filtro utilizado para la eliminación de datos duplicados, solo considera que cada vehículo realiza un solo viaje. Esto presentará problemas cuando se presente más de un viaje por vehículo. Por lo que es lógico mejorar este filtro, una propuesta considera utilizar condicionales que impliquen intervalos, y permitan volver a permitir de detección de un vehículo.
4. El modelo de microsimulación utilizado en este trabajo solo consideró las vialidades primarias dentro de la zona de estudio, por lo que se podría agregar las vialidades secundarias y analizar si existe alguna variación en la captación de pares O-D. Pues las vialidades secundarias son utilizadas como vías alternas a las primarias, cuando éstas últimas se encuentran congestionadas.

6. REFERENCIAS

- Abdulhai, Baher y Tao, Ma. (2002). GENOMISIN: A genetic algorithm-based optimization approach and generic tool for the calibration of traffic microscopic simulation parameters, *Journal of the Transportation Research Record*, TRR 1800.
- Ahuja, S. y Potti, P. (2010). An Introduction to RFID Technology. *Communications and Network*, 2, pp. 183-186.
- Antoniou, C., Ben-Akiva, M. y Koutsopoulos, H. (2004). Incorporating Automated Vehicle Identification Data into Origin–Destination Estimation. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1882, pp. 37-44.
- Anya, A., Roupail, N., Frey, H. y Schroeder, B. (2014). Application of AIMSUN microsimulation model to estimate emissions on signalized arterial corridors. *Transportation Research Record*, 2428, pp. 75-86.
- Arvizu, C. (2005). *Evolución urbana de Querétaro (1531-2005)*. Municipio de Querétaro- Tec de Monterrey. (324 pp.) ISBN: 968-891-082-1.
- Asakura, Y., Hato, E. y Kashiwadani, M. (2000). Origin-destination matrices estimation model using automatic vehicle identification data and its application to the Han-Shin expressway network. *Transportation*, 27(4), pp. 419–438.
- Barceló J. y Casas J. (2005). *Dynamic Network Simulation with AIMSUN*. En: Kitamura R., Kuwahara M. (eds) *Simulation Approaches in Transportation Analysis*. Operations Research/Computer Science Interfaces Series, vol 31. Springer, Boston.
- Barceló, J., Montero, L., Marqués, L. y Carmona, C. (2010). Travel Time Forecasting and Dynamic Origin–Destination Estimation for Freeways Based on Bluetooth Traffic Monitoring. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2175, pp. 19-27.
- Bernstein, D. y Kanaan, A. (1993). Automatic Vehicle Identification: Technologies and Functionalities. *IVHS Journal: Technology, Planning, and Operations*, 1(2), pp. 191-204.
- Bocanegra, H. (2005). *Estimación de una Matriz Origen-Destino a partir de Aforos Vehiculares* (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León. Nuevo León, México.
- Brenninger-Göthe, M., Jörnsten, K. y Lundgren, J. (1989). Estimation of origin-destination matrices from traffic counts using multiobjective programming formulations. *Transportation Research B*, 23(4), 257-269.

- Bueno, C. (2012). *Impacto de la Movilidad Inducido por las Urbanizaciones Dispersas. Caso de Estudio: Zona Metropolitana de Querétaro (1995-2010)*, (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México.
- Calabrese, F., Di Lorenzo, G., Liu, L. y Ratti. C. (2011). Estimating Origin-Destination Flows Using Mobile Phone Location Data. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 10 (4), pp. 36-44.
- Carpenter, C., Fowler, M. y Adler, T. (2012). Generating Route-Specific Origin-Destination Tables Using Bluetooth Technology. *Transportation Research Record*, 2308, pp. 96-102.
- Casas, J., Ferrer, J., Garcia, D., Perarnau, J. y Torday, A. (2010). *Traffic simulation with AIMSUN*. En Barceló, J., *Fundamentals of traffic simulation*. Springer, Barcelona.
- Cascetta, E. y Nguyen, S. (1988). A unified framework for estimating or updating origin/destination matrices from traffic counts. *Transportation Research Part B*, 22(6), pp. 437-455.
- Castillo, E., Menéndez, J. y Sánchez-Cambronero, S. (2008). Traffic Estimation and Optimal Counting Location Without Path Enumeration using Bayesian Networks. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 23, pp. 189-207.
- CONCYTEQ, Centro Queretano de Recursos Naturales (CQRN). (2003). *Reordenamiento del sistema de transporte público de pasajeros en la zona metropolitana de Querétaro, Primer reporte: Estudios de campo, TOMO VIII*. ISBN 978-607-7710-18-9.
- Chattaraj, A., Bansal, S. y Chandra, A. (2009). An intelligent traffic control system using RFID. *Potentials: IEEE*, 28, pp. 40-43.
- Chen, A., Pravinongvuth, S., Chootinan, P., Lee, M. y Recker, W. (2007). Strategies for Selecting Additional Traffic Counts for Improving O-D Trip Table Estimation. *Transportmetrica*, 3(3), pp. 191-21.
- Chiappone, S., Giuffrè, O., Grannà, A., Mauro, R. y Sferlazza, A. (2016). Traffic simulation model's calibration using speed-density relationship: An automated procedure based on genetic algorithm. *Expert Systems with Applications*, 44, pp. 147-155.
- Chiou, Y., Lan, L., Tseng, C. y Fan, C. (2012). Optimal Locations of License Plate Recognition to Enhance the Origin-Destination Matrix Estimation. *Asian Transport Studies*, 2(1), pp. 80-92.

- Derder, A. y Moussaoui, S. (2014). *Target Tracking in VANETs Using V2I and V2V Communication*. International Conference on Advanced Networking Distributed Systems and Applications, Bejaia, pp. 19-24.
- Djukic, T. (2014). *Dynamic OD Demand Estimation and Prediction for Dynamic Traffic Management*. TRAIL Thesis Series, 9. (138 pp.) ISBN: 978-90-5584-179-0.
- Dorado, M. (2014). Simulación de un agente enrutador de vehículos a través de un sistema basado en tiempos de viaje (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México.
- Dorado-Pineda, M. y Obregón-Biosca, S. (2016). Improve traffic operations based on real-time traffic information. *Modern Traffic and Transportation Engineering Research*, 4(1), pp. 1-10.
- Downs, A. (2004). *Still Stuck in Traffic, Coping with peak-hour traffic congestion*. The Brookings Institution. ISBN 0-8157-1929-9.
- Dupuy, G. (1998). *El urbanismo de las redes: Teorías y métodos*. Oikos-tau. Barcelona, España. ISBN 84-2810937.
- ECMT, OECD. (2007). *Managing Urban Traffic Congestion*. European Conference of Ministers of Transport. ISBN 978-92-821-0128-5.
- Fang, C. (2008). *Development of an Application Programming Interface (API) in Simulation to Evaluate Real-Time Signal Control. Plan, Build, and Manage*. Transportation Infrastructures Congress (ISSTP) ASCE, China.
- Finkenzeller, K. (2010). *RFID Handbook, Third Edition*. John Wiley and Sons, Ltd., Publication. (478 pp.) ISBN: 978-0-470-69506-7.
- Fisk, C. (1989). Trip matrix estimation from link traffic counts: the congested network case. *Transportation Research*, 23 (5), pp. 331-336.
- Galicia, L., Rajbhandari, R., Long Cheu, R. y Aldrete, R. (2011). Analysis of Transit Service Coverage Level-of-Service Measures at Border Regions and Suggested Alternative Procedure. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2216, pp. 139-147.
- Garber, N. y Hoel, L. (2004). *Ingeniería de tránsito y carreteras, Tercera Edición*. Cengage Learning Latin America (eds). International Thomson Editores. (874 pp.) ISBN-13: 978-9706863645.
- Hagen, L., Zhou, H. y Pirinccioglu, F. (2006). *Development of Revised Methodology for Collecting Origin-Destination Data* (Reporte Técnico No. FDOT: BD 544-30). Colegio de Ingeniería, Universidad del Sur de Florida. Tampa, Estados Unidos.

- Härri, J. (2009). Vehicular mobility modeling for vanet. *VANET: vehicular applications and inter-networking technologies*, Hartenstein, H. y Laberteaux, K. (eds.). John Wiley & Sons, Inc., pp. 107. ISBN 978-0-470-74056-9.
- Hourdakis, J., Michalopoulos, P. y Kottommannil, J. (2003). Practical Procedure for calibrating microscopic traffic simulation models. University of Minnesota. *Transportation Research record*, 1852, p. 130-139.
- Islas, V., Rivera, C., Torres, G. (2002). Estudio de la demanda de transporte. Instituto Mexicano del Transporte, Publicación Técnica Núm. 213, ISSN: 0188-7297.
- Kerner, B. (2009). *The Physics of Traffic. Empirical Freeway Patter Features, Engineering Applications, and Theory*. Springer. (688 pp.) ISBN: 978-3-642-05850-9.
- Khelifat, I. y Shatnawi, I. (2017). An Optimization of Bluetooth Sensor Locations for Origin-Destination in an Urban Network. *Journal of Transportation Technologies*, 7, pp. 367-375.
- Lam, W. y Lo, H. (1990). Accuracy of O-D estimates from traffic counts. *Traffic Engineering and Control*, 31, pp. 358-367.
- Lozano, A., Granados, F., Alarcón, Rodrigo., Antún, J. y Londoño, G. (2007). *Análisis del tráfico vehicular para el ordenamiento territorial caso Pénjamo, México*. XIV Congreso Latinoamericano de Transporte Público Urbano (XIV CLATPU). Instituto de Ingeniería, Laboratorio de Transporte y Sistemas Territoriales, Universidad Autónoma de México.
- Li, C. (2010). *Automatic vehicle identification (AVI) system based on RFID*. International Conference on Anti-Counterfeiting, Security and Identification. Chengdu.
- Ma, G., Li, P. y Yao, Y. (2006). *Research on Location of Traffic Counting Points or Estimating Origin-Destination Matrix*. 6th International Conference on ITS Telecommunications Proceedings. Chengdu, China.
- Martner, C. (2015). Transportation and rural-urban articulation of an intermediate Mexican city. *Revista mexicana de sociología*, 77(2), pp. 215-241.
- Mellegård, E., Moritz, S. y Zahoor, M. (2011). *Origin/Destination-estimation using cellular network data*. 11th IEEE International Conference on Data Mining Workshops. Vancouver, Canada.
- Muñuzuri, J., Larrañeta, J., Onieva, L. y Cortés, P. (2003). *Estimación de una matriz Origen-Destino para el transporte urbano de mercancías: aplicación a la*

ciudad de Sevilla (Ponencia). V Congreso de Ingeniería de Organización: CIO. Valladolid, España.

- Munizaga, M. y Palma, C. (2012). Estimation of a disaggregate multimodal public transport Origin–Destination matrix from passive smartcard data from Santiago, Chile. *Transportation Research Part C*, 24, pp. 9-18.
- Noori, H. y Valkama, M. (2013). *Impact of VANET Based V2V/V2I Communication Using IEEE 802.11p on Reducing Traveling Time in Realistic Large-Scale Urban Area*. International Conference on Connected Vehicles and Expo (ICCVE), Las Vegas, NV, pp. 654-661.
- Ntousakis, I., Nikilos, I. y Papageorgiou, M. (2015). On Microscopic Modelling of Adaptive Cruise Control Systems. *Transportation Research Procedia*, 6, pp. 111–127.
- Obregón, S. y Bueno, C. (2015). Dispersión urbana e integración funcional al núcleo central. *Gestión y Política Pública*, 24(4), pp. 489-529.
- Obregón-Biosca, S., Romero-Navarrete, J., Mendoza-Sanchez, J. y Betanzo-Quezada, E. (2016). Impact of mobility induced by urban sprawl: Case study of the Querétaro Metropolitan Area. *Journal of Urban Planning and Development*, 142 (2), pp. 223-235.
- Olstam, J. y Tapani, A. (2011). A review of Guidelines for Applying Traffic Simulation to Level of Service Analysis. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 16, pp. 771-780.
- O'Neill, W. (1987). *Origin-destination trip table estimation using traffic counts* (Tesis Doctoral). Universidad de Buffalo. Nueva York, Estados Unidos.
- Ortúzar, J.D., Willumsen, L. (2008). *Modelos de Transporte*. PubliCan, Universidad de Cantabria, España. (705 pp.) ISBN 978-84-8102-512-5.
- Ramírez, E. (2012). *Comparación de la interacción vehicular inducida por el empleo de carriles preferenciales para el transporte público utilizando microsimulación de tráfico* (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro. México.
- Rauh, E., Castelan, R., Kraus, W. (2016). Intersection control for automated vehicles with MILP. *IFAC-PapersOnLine*, 49(3), pp. 037–042.
- Schlaich, J. (2010). Analyzing Route Choice Behavior with Mobile Phone Trajectories. *Transportation Research Record*, 2157, pp. 78–85.
- Sheffi, Y. (1985). *Urban Transportation Network: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods*. Longman Higher Education. (415 pp.) ISBN: 0-13-939729-9.



- Shuldiner, P., D'Agostino, S. y Woodson, J. (1996). Determining Detailed Origin-Destination and Travel Time Patterns Using Video and Machine Vision License Plate Matching. *Transportation Research Record*, 1551, pp. 8-17.
- Tapia, J. (1998). La reducción del tráfico de automóviles: una política urgente de promoción de la salud. *Panam Salud Publica/Pan Am J Public Health*, 3 (3), pp. 137-151.
- Taylor, M. (1999). *An extended family of traffic network equilibria and its implications for land use and transport policies*. Meersman, H., Van Der Voorde, E., Winkelmanns, W. (Eds), World Transport Research. Selected Proceedings from the Eighth World Conference on Transport Research, 4, Transport Policy. Elsevier-Pergamon, Oxford, pp. 29-42.
- Thomson, I. y Bull, A. (2002). La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales. *Revista de la Cepal*, 76, pp. 109-121.
- Transport Simulation Systems, (2013). Microsimulator API Manual.
- Van Der Zijpp, N. (2014). Dynamic Origin-Destination Matrix Estimation from Traffic Counts and Automated Vehicle Identification Data. *Transportation Research Record*, 1607, pp. 87-94.
- Verastegui, D. (2012). *Estimación de Matrices Origen-Destino y Calibración de Parámetros en el Problema de Asignación de Tráfico en Redes Congestionadas* (Tesis Doctoral). Universidad Castilla-La Mancha. Ciudad Real, España.
- Vilarinho, C., Soares, G., Macebo, J., Tavares, J. y Sossetti, R. (2014). Capability-Enhanced AIMSUN with Real-Time Signal Timing Control. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 111, pp. 262–271.
- Vilarinho, C., Tavares, P. (2014). Real-time traffic signal settings at an isolated signal control intersection. *Transportation Research Procedia*, 3, pp. 1021 –1030.
- Walker, C. y Brockelsby, W. (1991). *Automatic vehicle identification (AVI) technology design considerations for highway applications*. 41st IEEE Vehicular Technology Conference. St. Louis, MO.
- Want, R. (2006). An introduction to RFID technology. *IEEE Pervasive Computing*, 5(1), pp. 25-33.
- Yang, H., Sasaki, T., Iida, Y. y Asakura, Y. (1992). Estimation of origin-destination matrices from link traffic counts on congested networks. *Transportation Research Part B*, 26(6), pp. 417-434.
- Yang, H. y Zhou, J. (1998). Optimal Traffic Counting Locations for Origin-Destination Matrix Estimation. *Transportation Research Part B*, 32(2), pp. 109-126.

- Yazan, M. (2016). Investigating and calibrating the dynamics of vehicles in traffic micro-simulations models. *Transportation Research Procedia*, 14, pp. 1782-1791.
- Yu, M., Zhang, D., Cheng, Y. y Wang, M. (2011). *An RFID electronic tag based automatic vehicle identification system for traffic IOT applications*. Chinese Control and Decision Conference (CCDC). Mianyang.
- Zhou, X. y Mahmassani, H. (2006). Dynamic Origin–Destination Demand Estimation Using Automatic Vehicle Identification Data. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 7 (1), pp. 105-114.

Dirección General de Bibliotecas UAG

7. APÉNDICE

7.1 Oficio de solicitud de información de semáforos

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO**
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

Querétaro, Querétaro a 29 de Noviembre de 2018

Asunto: Solicitud de Información

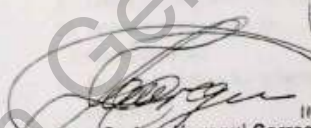
Ing. Fernando Javier Lobato Sánchez
Jefe de Departamento de Control y Semaforización
Secretaría de Movilidad

Presente:


Por este medio reciba un cordial saludo, a la vez, hacer de su conocimiento que dentro de la División de Investigación y Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro se está realizando la tesis titulada "LOCALIZACIÓN DE LECTORES RFID EN UNA RED VIAL URBANA PARA LA ESTIMACIÓN DE MATRICES ORIGEN-DESTINO" la cual la está llevando a cabo el alumno MIGUEL ANGEL REYNA ALONSO con número de expediente 272876. Dicha investigación pretende desarrollar un modelo de pruebas donde se experimente con sistemas de transporte, para ello es necesario contar con información de ciclos semaforicos de la zona de estudio, por lo anterior le solicito de la manera más atenta su apoyo para que se proporcione la información a dicho alumno de los tiempos de semáforos de las intersecciones listadas en el Anexo A.

Sin más por el momento, quedo a sus órdenes en espera de una respuesta.

Atentamente
"El ingenio para crear, no para destruir"


Dr. Juan Carlos Jauregui Correa
Jefe del Departamento de Investigación y Posgrado de la Facultad de Ingeniería

D. I. V. DE
INVESTIGACIÓN
Y POSGRADO


SECRETARÍA DE MOVILIDAD
30 NOV 2018
6790
SECRETARÍA DE MOVILIDAD
RECIBIDO

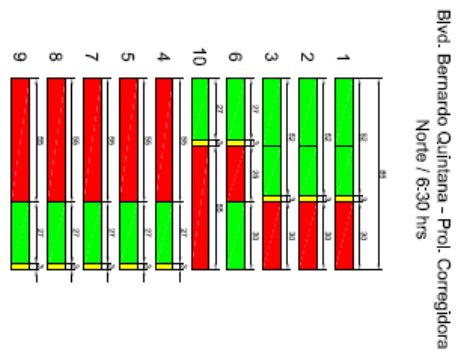
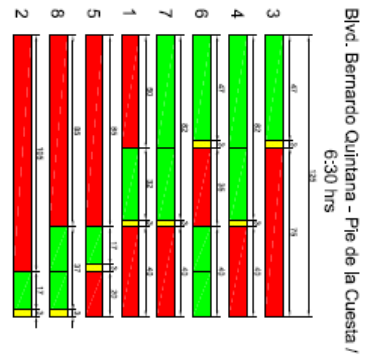
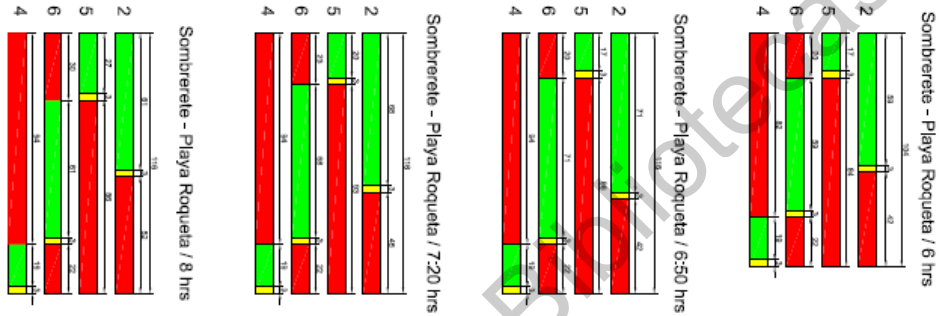
Ext 790
2 37 7600
SOMOSUAQ
EDUCAR CRECER CONSOLIDAR

Semaforizacion Ext. 7935

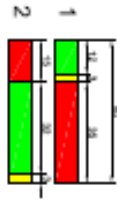
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
Cerro de las Campanas s/n, Col. Las Campanas.
C.P. 76010 Querétaro, Qro. Tel. 192 12 00 Ext. 6011

7.2 Resultados de convertir la información semafórica

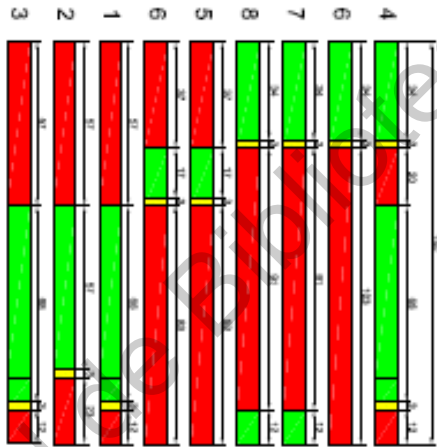
Las cotas representan el número de segundo que dura cada uno de los ciclos semafóricos, así mismo, el número del costado indica el número de fase. Cada una de las fases se ejecuta en el orden que se observa en las imágenes. Existen algunas intersecciones donde se programaron distintos ciclos semafóricos dependiendo de la hora del día.



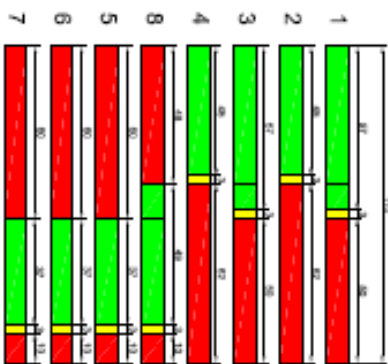
Fray Junipero Serra - Yuca / 6 hrs



Bvtd. Bernardo Quintana - Av. Universidad / 6 hrs

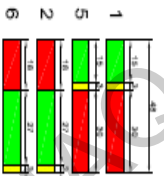


Bvtd. Bernardo Quintana - Calz. de los Arcos / 6 hrs

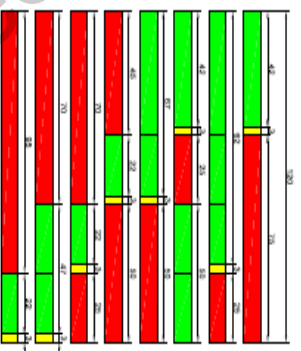


Dirección General de Obras Públicas UAQ

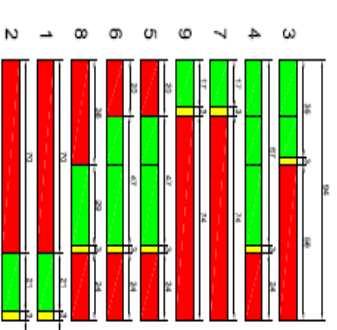
Av. Constituyentes - Av. Universidad
Cuhauemtoc



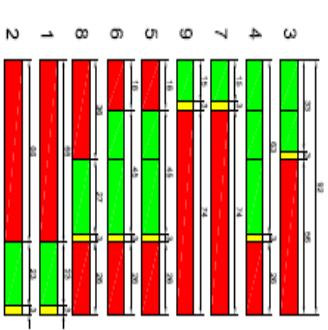
Carretera 57 - Av. Cimataño / 6 hrs



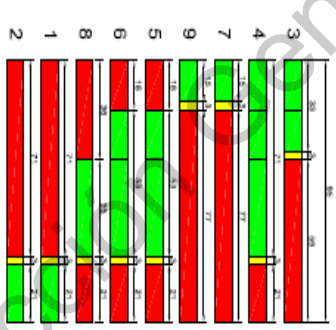
Carretera 57 - Av. Correjidora / 6 hrs



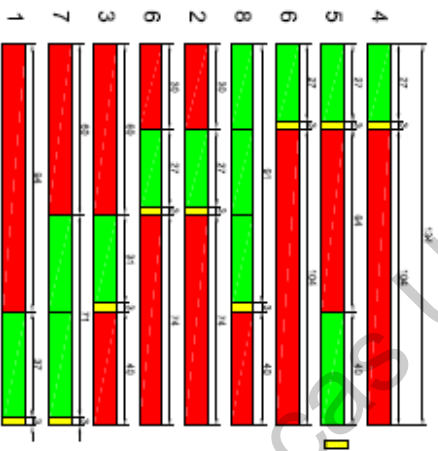
Carretera 57 - Av. Correjidora / 7 hrs



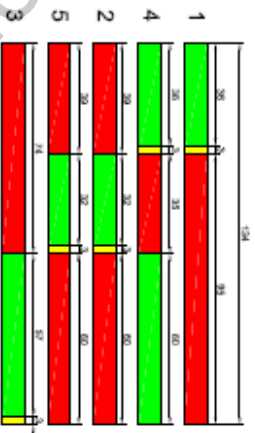
Carretera 57 - Av. Correjidora / 7:40 hrs



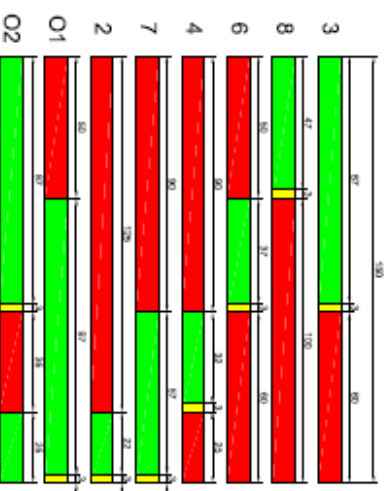
Av. 5 de Febrero - Av. Zaragoza / 6 hrs



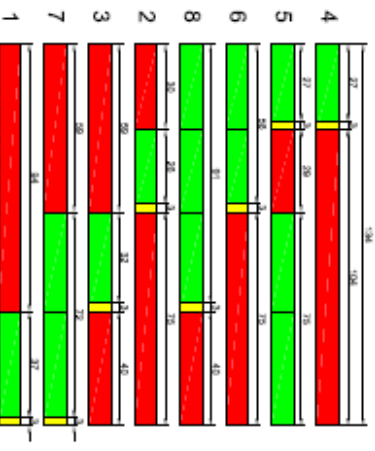
Av. 5 de Febrero - Carretera Tiacote / 6 hrs



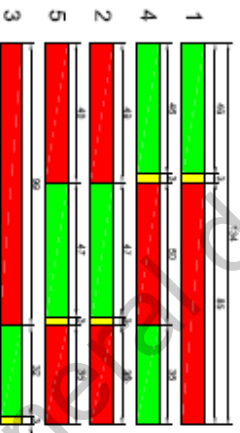
Av. 5 de Febrero - Río Ayulla / 6 hrs



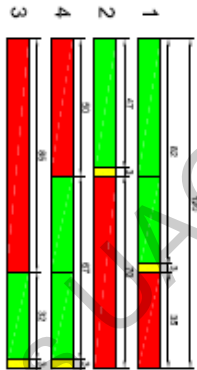
Av. 5 de Febrero - Av. Zaragoza / 8 hrs



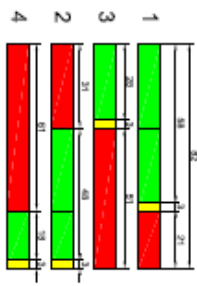
Av. 5 de Febrero - Carretera Tiacote / 8 hrs



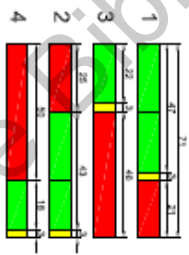
Av. 5 de Febrero - Epigmenio González / 6 hrs



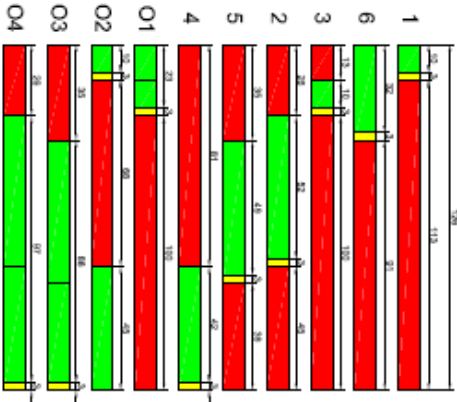
Prol. Tecnológico - Frente Ford Montes / 5:30 hrs



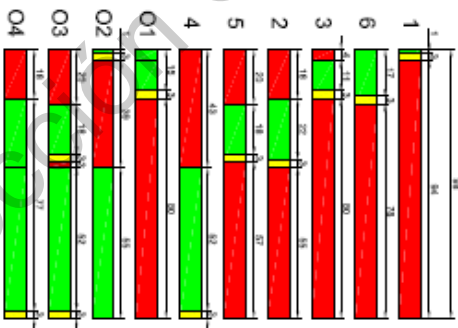
Prol. Tecnológico - Frente Ford Montes / 6:40 hrs



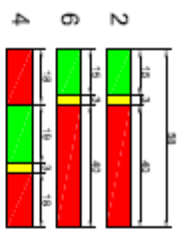
Prol. Tecnológico - Epigmenio González / 18:45 hrs



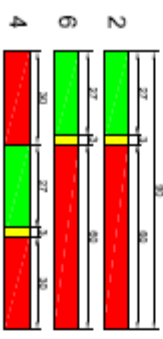
Prol. Tecnológico - Epigmenio González / 7 hrs



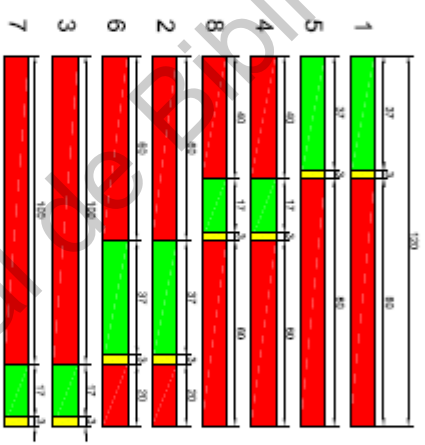
Epigmenio González - Jesús Oviedo
/ 5 hrs



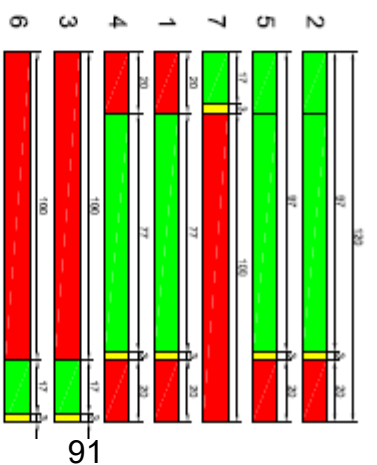
Epigmenio González - Jesús Oviedo
/ 6:30 hrs



Epigmenio González - Acceso 1
/ 6 hrs

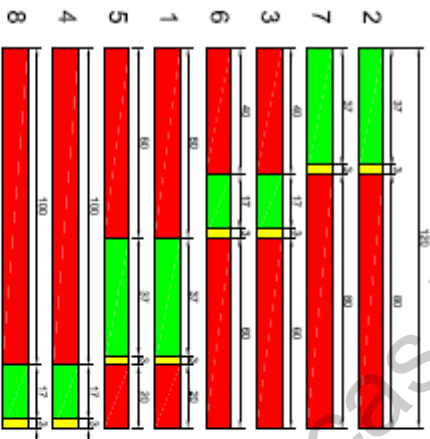


Epigmenio González - Vias Ferreas
/ 6 hrs

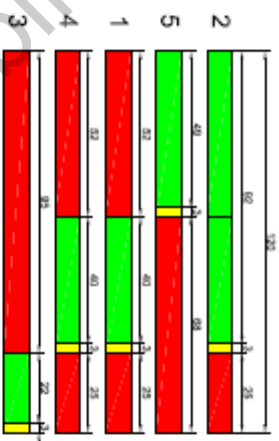


Dirección General de Bibliotecas UAQ

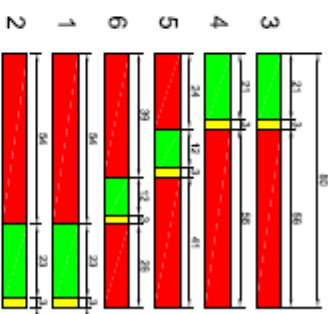
Epigmenio González - San Roque
/ 6 hrs



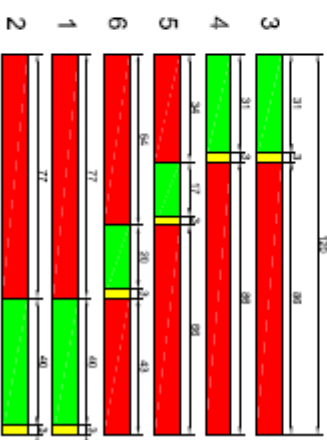
Epigmenio González - Ejido
/ 6 hrs



Epigmenio González - Invierno
/ 5 hrs



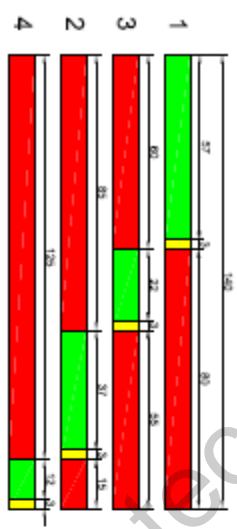
Epigmenio González - Invierno
/ 6:30 hrs



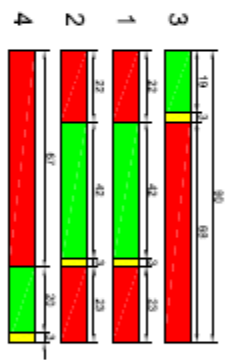
Dirección General de Bibliotecas UAQ

Dirección General de Bibliotecas UAQ

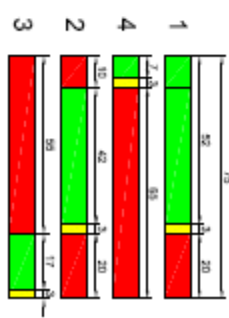
San Roque - Ejido
/ 6 hrs



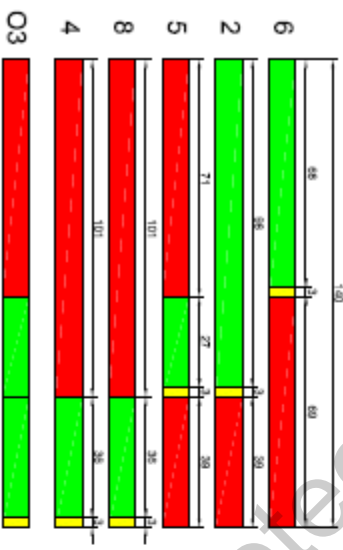
San Roque - Felipe Angeles
/ 6 hrs



Fraternidad - Felipe Angeles
/ 6 hrs



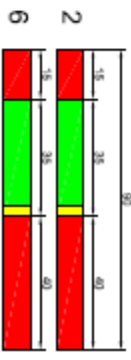
Av. Universidad - Melchor Ocampo / 6 hrs



Av. Universidad - Correidora / 6 hrs

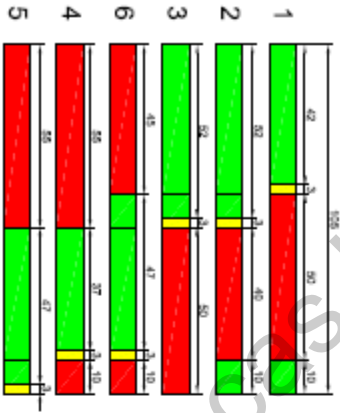


Prol. Correidora Norte - Marte

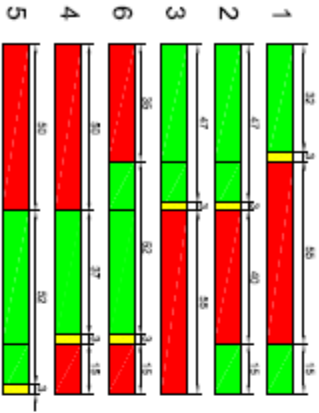


Dirección General de Bibliotecas UAQ

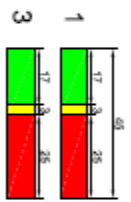
Proj. Corregidora Norte - Manufactura
/ 5 hrs



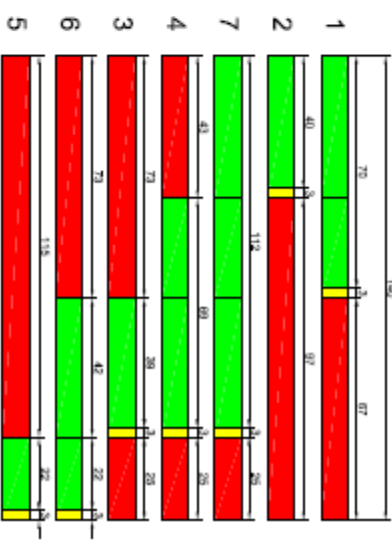
Proj. Corregidora Norte - Manufactura
/ 7 hrs



Rio Ayutla - La Piedad



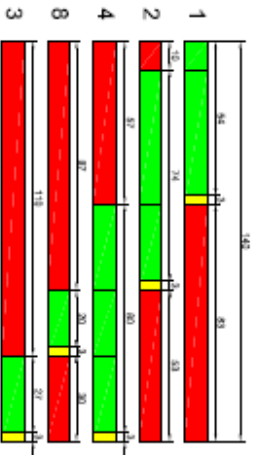
Av. Universidad - Tecnológico
/ 6 hrs



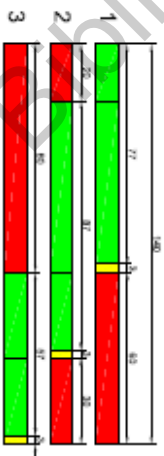
Dirección General de Bibliotecas

Dirección General de Bibliotecas UAQ

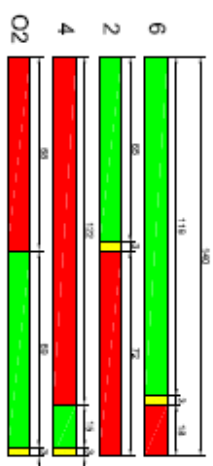
Av. Universidad - Ezequiel Montes
/ 6 hrs



Av. Universidad - Guerrero
/ 6 hrs

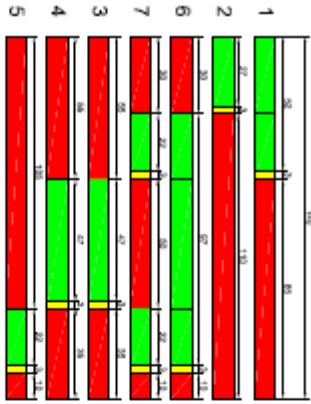


Av. Universidad - Benito Juárez
/ 6 hrs

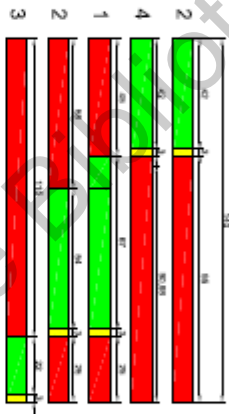


Dirección General de Bibliotecas UAQ

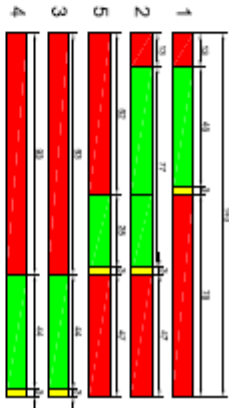
Av. Universidad - Corregidora
/ 6 hrs



Av. Universidad - Guillerrez Najera
/ 6 hrs

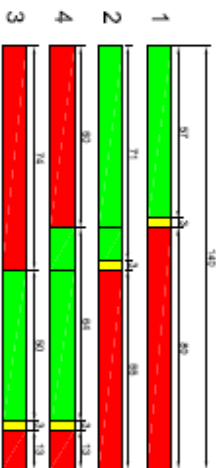


Av. Universidad - Damian Carrmona
/ 6 hrs

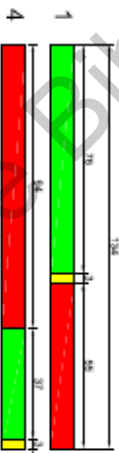


Dirección General de Bibliotecas UAQ

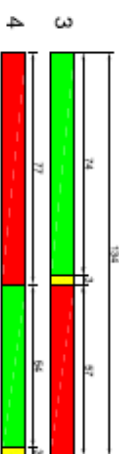
Av. Universidad - Arista
/ 6 hrs



Av. Tecnológico - Hidalgo
/ 6 hrs



Av. Tecnológico - Francisco I. Madreo
/ 6 hrs



7.3 Código fuente para recolección de información de vehículos simulados

```
#include "AKIProxie.h"
#include "CIProxie.h"
#include "ANGConProxie.h"
#include "AAPI.h"
#include <stdio.h>
#include <vector>
#include <queue>

    int coordenadax[2000][100];
    int coordenaday[2000][100];
    int secc;
    int s;
int r;
int y;
int x;
int n=1;
int l=1;
    int a;
    int control=0;
    int minX[612];
    int maxX[612];
    int minY[612];
    int maxY[612];
    int idvehi;
    int idsensor;
    int chequeo [700][10000] = { 0 };
    int conteoTotalSensor[10000]= { 0 };
    int c;
    int b;

// Procedures could be modified by the user

char astring[128];

int AAPILoad()
{
    minX[1] = 356389;
    minX[2] = 356327;
    minX[3] = 353524;
    minX[4] = 353524;
    minX[5] = 356187;
    minX[6] = 355173;
    minX[7] = 356591;
    minX[8] = 354005;
    minX[9] = 354010;
    minX[10] = 353450;
    minX[11] = 355705;
    minX[12] = 354721;
```

```
minX[13] = 355114;
minX[14] = 355790;
minX[15] = 351686;
minX[16] = 357439;
minX[17] = 352337;
minX[18] = 355544;
minX[19] = 355285;
minX[20] = 351655;
minX[21] = 352954;
minX[22] = 357836;
minX[23] = 356280;
minX[24] = 351659;
minX[25] = 353707;
minX[26] = 355447;
minX[27] = 351804;
minX[28] = 353733;
minX[29] = 357555;
minX[30] = 356277;
minX[31] = 354147;
minX[32] = 355316;
minX[33] = 352191;
minX[34] = 355657;
minX[35] = 356072;
minX[36] = 355712;
minX[37] = 353368;
minX[38] = 355037;
minX[39] = 355028;
minX[40] = 356151;
minX[41] = 355121;
minX[42] = 352621;
minX[43] = 357363;
minX[44] = 354760;
minX[45] = 354839;
minX[46] = 356205;
minX[47] = 355435;
minX[48] = 354689;
minX[49] = 352330;
minX[50] = 353294;
minX[51] = 354460;
minX[52] = 354059;
minX[53] = 352370;
minX[54] = 353825;
minX[55] = 356609;
minX[56] = 357211;
minX[57] = 352458;
minX[58] = 354568;
minX[59] = 355309;
minX[60] = 353414;
minX[61] = 352397;
minX[62] = 354505;
minX[63] = 354687;
minX[64] = 355284;
minX[65] = 353665;
minX[66] = 356008;
```



```
minX[67] = 356139;
minX[68] = 357563;
minX[69] = 355270;
minX[70] = 355059;
minX[71] = 353405;
minX[72] = 353405;
minX[73] = 353844;
minX[74] = 358049;
minX[75] = 356182;
minX[76] = 355691;
minX[77] = 355832;
minX[78] = 356300;
minX[79] = 355765;
minX[80] = 352424;
minX[81] = 353949;
minX[82] = 353619;
minX[83] = 352656;
minX[84] = 352656;
minX[85] = 356396;
minX[86] = 354076;
minX[87] = 356035;
minX[88] = 351578;
minX[89] = 355695;
minX[90] = 354502;
minX[91] = 357208;
minX[92] = 353236;
minX[93] = 352168;
minX[94] = 352331;
minX[95] = 352160;
minX[96] = 351778;
minX[97] = 355560;
minX[98] = 356626;
minX[99] = 357045;
minX[100] = 354802;
minX[101] = 351861;
minX[102] = 354684;
minX[103] = 351869;
minX[104] = 357022;
minX[105] = 352186;
minX[106] = 355999;
minX[107] = 355509;
minX[108] = 355978;
minX[109] = 355522;
minX[110] = 354204;
minX[111] = 356646;
minX[112] = 357940;
minX[113] = 354192;
minX[114] = 353619;
minX[115] = 354327;
minX[116] = 356659;
minX[117] = 354623;
minX[118] = 353255;
minX[119] = 357495;
minX[120] = 351733;
```

minX[121] = 352463;
minX[122] = 355104;
minX[123] = 352192;
minX[124] = 352440;
minX[125] = 352153;
minX[126] = 355375;
minX[127] = 352179;
minX[128] = 357867;
minX[129] = 355390;
minX[130] = 355673;
minX[131] = 355903;
minX[132] = 351692;
minX[133] = 357814;
minX[134] = 355379;
minX[135] = 351770;
minX[136] = 351634;
minX[137] = 352529;
minX[138] = 354470;
minX[139] = 351720;
minX[140] = 357934;
minX[141] = 352504;
minX[142] = 354230;
minX[143] = 351708;
minX[144] = 352059;
minX[145] = 351840;
minX[146] = 352502;
minX[147] = 353562;
minX[148] = 352033;
minX[149] = 352026;
minX[150] = 354195;
minX[151] = 357111;
minX[152] = 357630;
minX[153] = 356104;
minX[154] = 353145;
minX[155] = 354234;
minX[156] = 351441;
minX[157] = 354679;
minX[158] = 351465;
minX[159] = 354840;
minX[160] = 357964;
minX[161] = 353655;
minX[162] = 353655;
minX[163] = 352040;
minX[164] = 352051;
minX[165] = 352067;
minX[166] = 354899;
minX[167] = 354375;
minX[168] = 354192;
minX[169] = 352835;
minX[170] = 354371;
minX[171] = 354376;
minX[172] = 356117;
minX[173] = 356345;
minX[174] = 354955;

minX[175] = 356538;
minX[176] = 356102;
minX[177] = 354900;
minX[178] = 352418;
minX[179] = 355707;
minX[180] = 357703;
minX[181] = 355180;
minX[182] = 354759;
minX[183] = 353722;
minX[184] = 356542;
minX[185] = 355173;
minX[186] = 356334;
minX[187] = 354923;
minX[188] = 354684;
minX[189] = 357743;
minX[190] = 354072;
minX[191] = 356141;
minX[192] = 354050;
minX[193] = 353088;
minX[194] = 353897;
minX[195] = 354592;
minX[196] = 355968;
minX[197] = 356548;
minX[198] = 353522;
minX[199] = 353103;
minX[200] = 354056;
minX[201] = 351622;
minX[202] = 355613;
minX[203] = 356773;
minX[204] = 357822;
minX[205] = 356193;
minX[206] = 354582;
minX[207] = 352155;
minX[208] = 355153;
minX[209] = 353007;
minX[210] = 353623;
minX[211] = 354430;
minX[212] = 355070;
minX[213] = 352551;
minX[214] = 353893;
minX[215] = 356294;
minX[216] = 355327;
minX[217] = 355320;
minX[218] = 355278;
minX[219] = 355851;
minX[220] = 351942;
minX[221] = 355608;
minX[222] = 355015;
minX[223] = 355850;
minX[224] = 353796;
minX[225] = 352562;
minX[226] = 352102;
minX[227] = 355810;
minX[228] = 355262;

minX[229] = 355065;
minX[230] = 355318;
minX[231] = 354974;
minX[232] = 353619;
minX[233] = 356334;
minX[234] = 353868;
minX[235] = 357622;
minX[236] = 353263;
minX[237] = 355333;
minX[238] = 358432;
minX[239] = 353551;
minX[240] = 353619;
minX[241] = 357787;
minX[242] = 355531;
minX[243] = 353315;
minX[244] = 358262;
minX[245] = 357279;
minX[246] = 354364;
minX[247] = 354440;
minX[248] = 356056;
minX[249] = 355977;
minX[250] = 356625;
minX[251] = 353948;
minX[252] = 357766;
minX[253] = 357751;
minX[254] = 351502;
minX[255] = 354871;
minX[256] = 353699;
minX[257] = 358408;
minX[258] = 356241;
minX[259] = 355948;
minX[260] = 353275;
minX[261] = 353387;
minX[262] = 356896;
minX[263] = 351589;
minX[264] = 357727;
minX[265] = 357878;
minX[266] = 354208;
minX[267] = 354005;
minX[268] = 354207;
minX[269] = 351475;
minX[270] = 352907;
minX[271] = 356902;
minX[272] = 354284;
minX[273] = 353600;
minX[274] = 352962;
minX[275] = 352960;
minX[276] = 353242;
minX[277] = 355870;
minX[278] = 354400;
minX[279] = 351893;
minX[280] = 353648;
minX[281] = 352404;
minX[282] = 357723;

minX[283] = 353630;
minX[284] = 352070;
minX[285] = 353878;
minX[286] = 354091;
minX[287] = 352272;
minX[288] = 356712;
minX[289] = 353920;
minX[290] = 355105;
minX[291] = 351535;
minX[292] = 352911;
minX[293] = 356620;
minX[294] = 351526;
minX[295] = 357906;
minX[296] = 357981;
minX[297] = 354847;
minX[298] = 351722;
minX[299] = 357894;
minX[300] = 352612;
minX[301] = 357547;
minX[302] = 351986;
minX[303] = 352823;
minX[304] = 352944;
minX[305] = 352918;
minX[306] = 356609;
minX[307] = 352875;
minX[308] = 351531;
minX[309] = 354697;
minX[310] = 355270;
minX[311] = 356045;
minX[312] = 352516;
minX[313] = 354712;
minX[314] = 352231;
minX[315] = 355437;
minX[316] = 353137;
minX[317] = 357403;
minX[318] = 353242;
minX[319] = 358013;
minX[320] = 356923;
minX[321] = 353140;
minX[322] = 353482;
minX[323] = 354050;
minX[324] = 354765;
minX[325] = 355454;
minX[326] = 353376;
minX[327] = 358417;
minX[328] = 356216;
minX[329] = 352929;
minX[330] = 354658;
minX[331] = 355849;
minX[332] = 355356;
minX[333] = 357571;
minX[334] = 352936;
minX[335] = 356566;
minX[336] = 352610;

minX[337] = 355901;
minX[338] = 353537;
minX[339] = 354939;
minX[340] = 358222;
minX[341] = 352210;
minX[342] = 352522;
minX[343] = 354467;
minX[344] = 353421;
minX[345] = 357869;
minX[346] = 354860;
minX[347] = 357354;
minX[348] = 354609;
minX[349] = 352197;
minX[350] = 357866;
minX[351] = 353475;
minX[352] = 352220;
minX[353] = 351918;
minX[354] = 351917;
minX[355] = 353375;
minX[356] = 352974;
minX[357] = 352575;
minX[358] = 356640;
minX[359] = 352485;
minX[360] = 356637;
minX[361] = 356563;
minX[362] = 352798;
minX[363] = 352209;
minX[364] = 354447;
minX[365] = 358545;
minX[366] = 351820;
minX[367] = 356595;
minX[368] = 351888;
minX[369] = 357222;
minX[370] = 353679;
minX[371] = 354075;
minX[372] = 357691;
minX[373] = 354080;
minX[374] = 358427;
minX[375] = 356220;
minX[376] = 357289;
minX[377] = 353637;
minX[378] = 353838;
minX[379] = 353536;
minX[380] = 357696;
minX[381] = 354151;
minX[382] = 357418;
minX[383] = 357364;
minX[384] = 353465;
minX[385] = 353406;
minX[386] = 351845;
minX[387] = 355335;
minX[388] = 353548;
minX[389] = 357959;
minX[390] = 356759;

minX[391] = 351935;
minX[392] = 356256;
minX[393] = 353498;
minX[394] = 353828;
minX[395] = 351912;
minX[396] = 355766;
minX[397] = 354006;
minX[398] = 354001;
minX[399] = 354126;
minX[400] = 355887;
minX[401] = 354126;
minX[402] = 357068;
minX[403] = 358222;
minX[404] = 353655;
minX[405] = 355446;
minX[406] = 355460;
minX[407] = 356119;
minX[408] = 355148;
minX[409] = 355585;
minX[410] = 356252;
minX[411] = 355573;
minX[412] = 357559;
minX[413] = 357340;
minX[414] = 351685;
minX[415] = 351761;
minX[416] = 352924;
minX[417] = 353159;
minX[418] = 357933;
minX[419] = 356393;
minX[420] = 358064;
minX[421] = 355348;
minX[422] = 353156;
minX[423] = 353859;
minX[424] = 357367;
minX[425] = 353577;
minX[426] = 356604;
minX[427] = 351774;
minX[428] = 353853;
minX[429] = 353702;
minX[430] = 352883;
minX[431] = 353036;
minX[432] = 351455;
minX[433] = 354072;
minX[434] = 353110;
minX[435] = 355856;
minX[436] = 357769;
minX[437] = 352292;
minX[438] = 351475;
minX[439] = 357748;
minX[440] = 356356;
minX[441] = 352275;
minX[442] = 357914;
minX[443] = 352256;
minX[444] = 355782;

minX[445] = 352269;
minX[446] = 351491;
minX[447] = 355562;
minX[448] = 352280;
minX[449] = 354112;
minX[450] = 355674;
minX[451] = 354111;
minX[452] = 355051;
minX[453] = 356425;
minX[454] = 358625;
minX[455] = 358616;
minX[456] = 355664;
minX[457] = 351576;
minX[458] = 355452;
minX[459] = 351786;
minX[460] = 358044;
minX[461] = 353612;
minX[462] = 353843;
minX[463] = 355227;
minX[464] = 352733;
minX[465] = 354890;
minX[466] = 356213;
minX[467] = 358040;
minX[468] = 357928;
minX[469] = 354485;
minX[470] = 354581;
minX[471] = 355183;
minX[472] = 353534;
minX[473] = 353073;
minX[474] = 355406;
minX[475] = 353624;
minX[476] = 357831;
minX[477] = 355525;
minX[478] = 356794;
minX[479] = 353759;
minX[480] = 352421;
minX[481] = 352421;
minX[482] = 353218;
minX[483] = 356841;
minX[484] = 356838;
minX[485] = 353499;
minX[486] = 354734;
minX[487] = 353982;
minX[488] = 354551;
minX[489] = 352391;
minX[490] = 352008;
minX[491] = 358663;
minX[492] = 354596;
minX[493] = 355275;
minX[494] = 352659;
minX[495] = 357035;
minX[496] = 354338;
minX[497] = 354062;
minX[498] = 354418;

minX[499] = 356798;
minX[500] = 352485;
minX[501] = 352497;
minX[502] = 358341;
minX[503] = 351785;
minX[504] = 356796;
minX[505] = 353177;
minX[506] = 352650;
minX[507] = 355167;
minX[508] = 351516;
minX[509] = 354501;
minX[510] = 356615;
minX[511] = 357213;
minX[512] = 356546;
minX[513] = 357117;
minX[514] = 356543;
minX[515] = 356438;
minX[516] = 354463;
minX[517] = 352637;
minX[518] = 354275;
minX[519] = 352920;
minX[520] = 353175;
minX[521] = 356484;
minX[522] = 351294;
minX[523] = 354281;
minX[524] = 356566;
minX[525] = 357805;
minX[526] = 353903;
minX[527] = 358481;
minX[528] = 357750;
minX[529] = 353917;
minX[530] = 351882;
minX[531] = 355248;
minX[532] = 357717;
minX[533] = 353260;
minX[534] = 357997;
minX[535] = 353252;
minX[536] = 353414;
minX[537] = 352208;
minX[538] = 354994;
minX[539] = 352104;
minX[540] = 352117;
minX[541] = 354567;
minX[542] = 352391;
minX[543] = 353422;
minX[544] = 353516;
minX[545] = 357308;
minX[546] = 356056;
minX[547] = 357039;
minX[548] = 358044;
minX[549] = 352884;
minX[550] = 352376;
minX[551] = 357775;
minX[552] = 358170;

minX[553] = 354979;
minX[554] = 351283;
minX[555] = 353198;
minX[556] = 357822;
minX[557] = 357033;
minX[558] = 355745;
minX[559] = 357509;
minX[560] = 354304;
minX[561] = 351970;
minX[562] = 351981;
minX[563] = 352708;
minX[564] = 356337;
minX[565] = 355113;
minX[566] = 353539;
minX[567] = 356166;
minX[568] = 356453;
minX[569] = 357328;
minX[570] = 352883;
minX[571] = 356172;
minX[572] = 351319;
minX[573] = 351330;
minX[574] = 351825;
minX[575] = 356319;
minX[576] = 353870;
minX[577] = 356625;
minX[578] = 351604;
minX[579] = 351787;
minX[580] = 355215;
minX[581] = 352782;
minX[582] = 353579;
minX[583] = 352676;
minX[584] = 354362;
minX[585] = 357711;
minX[586] = 355446;
minX[587] = 354919;
minX[588] = 357881;
minX[589] = 354868;
minX[590] = 354843;
minX[591] = 358045;
minX[592] = 356877;
minX[593] = 354228;
minX[594] = 354198;
minX[595] = 354895;
minX[596] = 353569;
minX[597] = 353625;
minX[598] = 354210;
minX[599] = 353615;
minX[600] = 353001;
minX[601] = 352970;
minX[602] = 356026;
minX[603] = 355959;
minX[604] = 356823;
minX[605] = 356946;
minX[606] = 353464;

```
minX[607] = 355962;  
minX[608] = 355983;  
minX[609] = 355997;  
minX[610] = 357630;  
minX[611] = 357916;  
minX[612] = 351625;
```

```
maxX[1] = 356709;  
maxX[2] = 356647;  
maxX[3] = 353844;  
maxX[4] = 353844;  
maxX[5] = 356507;  
maxX[6] = 355493;  
maxX[7] = 356911;  
maxX[8] = 354325;  
maxX[9] = 354330;  
maxX[10] = 353770;  
maxX[11] = 356025;  
maxX[12] = 355041;  
maxX[13] = 355434;  
maxX[14] = 356110;  
maxX[15] = 352006;  
maxX[16] = 357759;  
maxX[17] = 352657;  
maxX[18] = 355864;  
maxX[19] = 355605;  
maxX[20] = 351975;  
maxX[21] = 353274;  
maxX[22] = 358156;  
maxX[23] = 356600;  
maxX[24] = 351979;  
maxX[25] = 354027;  
maxX[26] = 355767;  
maxX[27] = 352124;  
maxX[28] = 354053;  
maxX[29] = 357875;  
maxX[30] = 356597;  
maxX[31] = 354467;  
maxX[32] = 355636;  
maxX[33] = 352511;  
maxX[34] = 355977;  
maxX[35] = 356392;  
maxX[36] = 356032;  
maxX[37] = 353688;  
maxX[38] = 355357;  
maxX[39] = 355348;  
maxX[40] = 356471;  
maxX[41] = 355441;  
maxX[42] = 352941;  
maxX[43] = 357683;  
maxX[44] = 355080;  
maxX[45] = 355159;  
maxX[46] = 356525;  
maxX[47] = 355755;
```

maxX[48] = 355009;
maxX[49] = 352650;
maxX[50] = 353614;
maxX[51] = 354780;
maxX[52] = 354379;
maxX[53] = 352690;
maxX[54] = 354145;
maxX[55] = 356929;
maxX[56] = 357531;
maxX[57] = 352778;
maxX[58] = 354888;
maxX[59] = 355629;
maxX[60] = 353734;
maxX[61] = 352717;
maxX[62] = 354825;
maxX[63] = 355007;
maxX[64] = 355604;
maxX[65] = 353985;
maxX[66] = 356328;
maxX[67] = 356459;
maxX[68] = 357883;
maxX[69] = 355590;
maxX[70] = 355379;
maxX[71] = 353725;
maxX[72] = 353725;
maxX[73] = 354164;
maxX[74] = 358369;
maxX[75] = 356502;
maxX[76] = 356011;
maxX[77] = 356152;
maxX[78] = 356620;
maxX[79] = 356085;
maxX[80] = 352744;
maxX[81] = 354269;
maxX[82] = 353939;
maxX[83] = 352976;
maxX[84] = 352976;
maxX[85] = 356716;
maxX[86] = 354396;
maxX[87] = 356355;
maxX[88] = 351898;
maxX[89] = 356015;
maxX[90] = 354822;
maxX[91] = 357528;
maxX[92] = 353556;
maxX[93] = 352488;
maxX[94] = 352651;
maxX[95] = 352480;
maxX[96] = 352098;
maxX[97] = 355880;
maxX[98] = 356946;
maxX[99] = 357365;
maxX[100] = 355122;
maxX[101] = 352181;

maxX[102] = 355004;
maxX[103] = 352189;
maxX[104] = 357342;
maxX[105] = 352506;
maxX[106] = 356319;
maxX[107] = 355829;
maxX[108] = 356298;
maxX[109] = 355842;
maxX[110] = 354524;
maxX[111] = 356966;
maxX[112] = 358260;
maxX[113] = 354512;
maxX[114] = 353939;
maxX[115] = 354647;
maxX[116] = 356979;
maxX[117] = 354943;
maxX[118] = 353575;
maxX[119] = 357815;
maxX[120] = 352053;
maxX[121] = 352783;
maxX[122] = 355424;
maxX[123] = 352512;
maxX[124] = 352760;
maxX[125] = 352473;
maxX[126] = 355695;
maxX[127] = 352499;
maxX[128] = 358187;
maxX[129] = 355710;
maxX[130] = 355993;
maxX[131] = 356223;
maxX[132] = 352012;
maxX[133] = 358134;
maxX[134] = 355699;
maxX[135] = 352090;
maxX[136] = 351954;
maxX[137] = 352849;
maxX[138] = 354790;
maxX[139] = 352040;
maxX[140] = 358254;
maxX[141] = 352824;
maxX[142] = 354550;
maxX[143] = 352028;
maxX[144] = 352379;
maxX[145] = 352160;
maxX[146] = 352822;
maxX[147] = 353882;
maxX[148] = 352353;
maxX[149] = 352346;
maxX[150] = 354515;
maxX[151] = 357431;
maxX[152] = 357950;
maxX[153] = 356424;
maxX[154] = 353465;
maxX[155] = 354554;

maxX[156] = 351761;
maxX[157] = 354999;
maxX[158] = 351785;
maxX[159] = 355160;
maxX[160] = 358284;
maxX[161] = 353975;
maxX[162] = 353975;
maxX[163] = 352360;
maxX[164] = 352371;
maxX[165] = 352387;
maxX[166] = 355219;
maxX[167] = 354695;
maxX[168] = 354512;
maxX[169] = 353155;
maxX[170] = 354691;
maxX[171] = 354696;
maxX[172] = 356437;
maxX[173] = 356665;
maxX[174] = 355275;
maxX[175] = 356858;
maxX[176] = 356422;
maxX[177] = 355220;
maxX[178] = 352738;
maxX[179] = 356027;
maxX[180] = 358023;
maxX[181] = 355500;
maxX[182] = 355079;
maxX[183] = 354042;
maxX[184] = 356862;
maxX[185] = 355493;
maxX[186] = 356654;
maxX[187] = 355243;
maxX[188] = 355004;
maxX[189] = 358063;
maxX[190] = 354392;
maxX[191] = 356461;
maxX[192] = 354370;
maxX[193] = 353408;
maxX[194] = 354217;
maxX[195] = 354912;
maxX[196] = 356288;
maxX[197] = 356868;
maxX[198] = 353842;
maxX[199] = 353423;
maxX[200] = 354376;
maxX[201] = 351942;
maxX[202] = 355933;
maxX[203] = 357093;
maxX[204] = 358142;
maxX[205] = 356513;
maxX[206] = 354902;
maxX[207] = 352475;
maxX[208] = 355473;
maxX[209] = 353327;

maxX[210] = 353943;
maxX[211] = 354750;
maxX[212] = 355390;
maxX[213] = 352871;
maxX[214] = 354213;
maxX[215] = 356614;
maxX[216] = 355647;
maxX[217] = 355640;
maxX[218] = 355598;
maxX[219] = 356171;
maxX[220] = 352262;
maxX[221] = 355928;
maxX[222] = 355335;
maxX[223] = 356170;
maxX[224] = 354116;
maxX[225] = 352882;
maxX[226] = 352422;
maxX[227] = 356130;
maxX[228] = 355582;
maxX[229] = 355385;
maxX[230] = 355638;
maxX[231] = 355294;
maxX[232] = 353939;
maxX[233] = 356654;
maxX[234] = 354188;
maxX[235] = 357942;
maxX[236] = 353583;
maxX[237] = 355653;
maxX[238] = 358752;
maxX[239] = 353871;
maxX[240] = 353939;
maxX[241] = 358107;
maxX[242] = 355851;
maxX[243] = 353635;
maxX[244] = 358582;
maxX[245] = 357599;
maxX[246] = 354684;
maxX[247] = 354760;
maxX[248] = 356376;
maxX[249] = 356297;
maxX[250] = 356945;
maxX[251] = 354268;
maxX[252] = 358086;
maxX[253] = 358071;
maxX[254] = 351822;
maxX[255] = 355191;
maxX[256] = 354019;
maxX[257] = 358728;
maxX[258] = 356561;
maxX[259] = 356268;
maxX[260] = 353595;
maxX[261] = 353707;
maxX[262] = 357216;
maxX[263] = 351909;

maxX[264] = 358047;
maxX[265] = 358198;
maxX[266] = 354528;
maxX[267] = 354325;
maxX[268] = 354527;
maxX[269] = 351795;
maxX[270] = 353227;
maxX[271] = 357222;
maxX[272] = 354604;
maxX[273] = 353920;
maxX[274] = 353282;
maxX[275] = 353280;
maxX[276] = 353562;
maxX[277] = 356190;
maxX[278] = 354720;
maxX[279] = 352213;
maxX[280] = 353968;
maxX[281] = 352724;
maxX[282] = 358043;
maxX[283] = 353950;
maxX[284] = 352390;
maxX[285] = 354198;
maxX[286] = 354411;
maxX[287] = 352592;
maxX[288] = 357032;
maxX[289] = 354240;
maxX[290] = 355425;
maxX[291] = 351855;
maxX[292] = 353231;
maxX[293] = 356940;
maxX[294] = 351846;
maxX[295] = 358226;
maxX[296] = 358301;
maxX[297] = 355167;
maxX[298] = 352042;
maxX[299] = 358214;
maxX[300] = 352932;
maxX[301] = 357867;
maxX[302] = 352306;
maxX[303] = 353143;
maxX[304] = 353264;
maxX[305] = 353238;
maxX[306] = 356929;
maxX[307] = 353195;
maxX[308] = 351851;
maxX[309] = 355017;
maxX[310] = 355590;
maxX[311] = 356365;
maxX[312] = 352836;
maxX[313] = 355032;
maxX[314] = 352551;
maxX[315] = 355757;
maxX[316] = 353457;
maxX[317] = 357723;

maxX[318] = 353562;
maxX[319] = 358333;
maxX[320] = 357243;
maxX[321] = 353460;
maxX[322] = 353802;
maxX[323] = 354370;
maxX[324] = 355085;
maxX[325] = 355774;
maxX[326] = 353696;
maxX[327] = 358737;
maxX[328] = 356536;
maxX[329] = 353249;
maxX[330] = 354978;
maxX[331] = 356169;
maxX[332] = 355676;
maxX[333] = 357891;
maxX[334] = 353256;
maxX[335] = 356886;
maxX[336] = 352930;
maxX[337] = 356221;
maxX[338] = 353857;
maxX[339] = 355259;
maxX[340] = 358542;
maxX[341] = 352530;
maxX[342] = 352842;
maxX[343] = 354787;
maxX[344] = 353741;
maxX[345] = 358189;
maxX[346] = 355180;
maxX[347] = 357674;
maxX[348] = 354929;
maxX[349] = 352517;
maxX[350] = 358186;
maxX[351] = 353795;
maxX[352] = 352540;
maxX[353] = 352238;
maxX[354] = 352237;
maxX[355] = 353695;
maxX[356] = 353294;
maxX[357] = 352895;
maxX[358] = 356960;
maxX[359] = 352805;
maxX[360] = 356957;
maxX[361] = 356883;
maxX[362] = 353118;
maxX[363] = 352529;
maxX[364] = 354767;
maxX[365] = 358865;
maxX[366] = 352140;
maxX[367] = 356915;
maxX[368] = 352208;
maxX[369] = 357542;
maxX[370] = 353999;
maxX[371] = 354395;

maxX[372] = 358011;
maxX[373] = 354400;
maxX[374] = 358747;
maxX[375] = 356540;
maxX[376] = 357609;
maxX[377] = 353957;
maxX[378] = 354158;
maxX[379] = 353856;
maxX[380] = 358016;
maxX[381] = 354471;
maxX[382] = 357738;
maxX[383] = 357684;
maxX[384] = 353785;
maxX[385] = 353726;
maxX[386] = 352165;
maxX[387] = 355655;
maxX[388] = 353868;
maxX[389] = 358279;
maxX[390] = 357079;
maxX[391] = 352255;
maxX[392] = 356576;
maxX[393] = 353818;
maxX[394] = 354148;
maxX[395] = 352232;
maxX[396] = 356086;
maxX[397] = 354326;
maxX[398] = 354321;
maxX[399] = 354446;
maxX[400] = 356207;
maxX[401] = 354446;
maxX[402] = 357388;
maxX[403] = 358542;
maxX[404] = 353975;
maxX[405] = 355766;
maxX[406] = 355780;
maxX[407] = 356439;
maxX[408] = 355468;
maxX[409] = 355905;
maxX[410] = 356572;
maxX[411] = 355893;
maxX[412] = 357879;
maxX[413] = 357660;
maxX[414] = 352005;
maxX[415] = 352081;
maxX[416] = 353244;
maxX[417] = 353479;
maxX[418] = 358253;
maxX[419] = 356713;
maxX[420] = 358384;
maxX[421] = 355668;
maxX[422] = 353476;
maxX[423] = 354179;
maxX[424] = 357687;
maxX[425] = 353897;

maxX[426] = 356924;
maxX[427] = 352094;
maxX[428] = 354173;
maxX[429] = 354022;
maxX[430] = 353203;
maxX[431] = 353356;
maxX[432] = 351775;
maxX[433] = 354392;
maxX[434] = 353430;
maxX[435] = 356176;
maxX[436] = 358089;
maxX[437] = 352612;
maxX[438] = 351795;
maxX[439] = 358068;
maxX[440] = 356676;
maxX[441] = 352595;
maxX[442] = 358234;
maxX[443] = 352576;
maxX[444] = 356102;
maxX[445] = 352589;
maxX[446] = 351811;
maxX[447] = 355882;
maxX[448] = 352600;
maxX[449] = 354432;
maxX[450] = 355994;
maxX[451] = 354431;
maxX[452] = 355371;
maxX[453] = 356745;
maxX[454] = 358945;
maxX[455] = 358936;
maxX[456] = 355984;
maxX[457] = 351896;
maxX[458] = 355772;
maxX[459] = 352106;
maxX[460] = 358364;
maxX[461] = 353932;
maxX[462] = 354163;
maxX[463] = 355547;
maxX[464] = 353053;
maxX[465] = 355210;
maxX[466] = 356533;
maxX[467] = 358360;
maxX[468] = 358248;
maxX[469] = 354805;
maxX[470] = 354901;
maxX[471] = 355503;
maxX[472] = 353854;
maxX[473] = 353393;
maxX[474] = 355726;
maxX[475] = 353944;
maxX[476] = 358151;
maxX[477] = 355845;
maxX[478] = 357114;
maxX[479] = 354079;

maxX[480] = 352741;
maxX[481] = 352741;
maxX[482] = 353538;
maxX[483] = 357161;
maxX[484] = 357158;
maxX[485] = 353819;
maxX[486] = 355054;
maxX[487] = 354302;
maxX[488] = 354871;
maxX[489] = 352711;
maxX[490] = 352328;
maxX[491] = 358983;
maxX[492] = 354916;
maxX[493] = 355595;
maxX[494] = 352979;
maxX[495] = 357355;
maxX[496] = 354658;
maxX[497] = 354382;
maxX[498] = 354738;
maxX[499] = 357118;
maxX[500] = 352805;
maxX[501] = 352817;
maxX[502] = 358661;
maxX[503] = 352105;
maxX[504] = 357116;
maxX[505] = 353497;
maxX[506] = 352970;
maxX[507] = 355487;
maxX[508] = 351836;
maxX[509] = 354821;
maxX[510] = 356935;
maxX[511] = 357533;
maxX[512] = 356866;
maxX[513] = 357437;
maxX[514] = 356863;
maxX[515] = 356758;
maxX[516] = 354783;
maxX[517] = 352957;
maxX[518] = 354595;
maxX[519] = 353240;
maxX[520] = 353495;
maxX[521] = 356804;
maxX[522] = 351614;
maxX[523] = 354601;
maxX[524] = 356886;
maxX[525] = 358125;
maxX[526] = 354223;
maxX[527] = 358801;
maxX[528] = 358070;
maxX[529] = 354237;
maxX[530] = 352202;
maxX[531] = 355568;
maxX[532] = 358037;
maxX[533] = 353580;

maxX[534] = 358317;
maxX[535] = 353572;
maxX[536] = 353734;
maxX[537] = 352528;
maxX[538] = 355314;
maxX[539] = 352424;
maxX[540] = 352437;
maxX[541] = 354887;
maxX[542] = 352711;
maxX[543] = 353742;
maxX[544] = 353836;
maxX[545] = 357628;
maxX[546] = 356376;
maxX[547] = 357359;
maxX[548] = 358364;
maxX[549] = 353204;
maxX[550] = 352696;
maxX[551] = 358095;
maxX[552] = 358490;
maxX[553] = 355299;
maxX[554] = 351603;
maxX[555] = 353518;
maxX[556] = 358142;
maxX[557] = 357353;
maxX[558] = 356065;
maxX[559] = 357829;
maxX[560] = 354624;
maxX[561] = 352290;
maxX[562] = 352301;
maxX[563] = 353028;
maxX[564] = 356657;
maxX[565] = 355433;
maxX[566] = 353859;
maxX[567] = 356486;
maxX[568] = 356773;
maxX[569] = 357648;
maxX[570] = 353203;
maxX[571] = 356492;
maxX[572] = 351639;
maxX[573] = 351650;
maxX[574] = 352145;
maxX[575] = 356639;
maxX[576] = 354190;
maxX[577] = 356945;
maxX[578] = 351924;
maxX[579] = 352107;
maxX[580] = 355535;
maxX[581] = 353102;
maxX[582] = 353899;
maxX[583] = 352996;
maxX[584] = 354682;
maxX[585] = 358031;
maxX[586] = 355766;
maxX[587] = 355239;

maxX[588] = 358201;
maxX[589] = 355188;
maxX[590] = 355163;
maxX[591] = 358365;
maxX[592] = 357197;
maxX[593] = 354548;
maxX[594] = 354518;
maxX[595] = 355215;
maxX[596] = 353889;
maxX[597] = 353945;
maxX[598] = 354530;
maxX[599] = 353935;
maxX[600] = 353321;
maxX[601] = 353290;
maxX[602] = 356346;
maxX[603] = 356279;
maxX[604] = 357143;
maxX[605] = 357266;
maxX[606] = 353784;
maxX[607] = 356282;
maxX[608] = 356303;
maxX[609] = 356317;
maxX[610] = 357950;
maxX[611] = 358236;
maxX[612] = 351945;

minY[1] = 2276956;
minY[2] = 2276006;
minY[3] = 2278765;
minY[4] = 2278769;
minY[5] = 2279588;
minY[6] = 2280036;
minY[7] = 2276481;
minY[8] = 2278815;
minY[9] = 2278815;
minY[10] = 2277248;
minY[11] = 2279139;
minY[12] = 2279817;
minY[13] = 2276716;
minY[14] = 2279385;
minY[15] = 2280542;
minY[16] = 2277262;
minY[17] = 2278034;
minY[18] = 2278422;
minY[19] = 2279850;
minY[20] = 2280589;
minY[21] = 2280498;
minY[22] = 2277119;
minY[23] = 2276841;
minY[24] = 2280687;
minY[25] = 2280004;
minY[26] = 2275810;
minY[27] = 2280082;
minY[28] = 2275577;

minY[29] = 2276226;
minY[30] = 2276861;
minY[31] = 2278124;
minY[32] = 2279498;
minY[33] = 2278848;
minY[34] = 2279304;
minY[35] = 2279505;
minY[36] = 2275799;
minY[37] = 2276160;
minY[38] = 2276748;
minY[39] = 2276883;
minY[40] = 2278812;
minY[41] = 2279899;
minY[42] = 2276771;
minY[43] = 2277355;
minY[44] = 2277687;
minY[45] = 2280140;
minY[46] = 2279094;
minY[47] = 2275808;
minY[48] = 2277664;
minY[49] = 2278036;
minY[50] = 2275778;
minY[51] = 2280159;
minY[52] = 2275568;
minY[53] = 2277932;
minY[54] = 2277915;
minY[55] = 2275915;
minY[56] = 2277004;
minY[57] = 2277831;
minY[58] = 2275603;
minY[59] = 2275817;
minY[60] = 2275796;
minY[61] = 2277668;
minY[62] = 2276932;
minY[63] = 2278178;
minY[64] = 2279829;
minY[65] = 2276757;
minY[66] = 2278400;
minY[67] = 2279198;
minY[68] = 2277050;
minY[69] = 2280027;
minY[70] = 2276892;
minY[71] = 2278770;
minY[72] = 2278773;
minY[73] = 2275512;
minY[74] = 2276362;
minY[75] = 2279227;
minY[76] = 2279636;
minY[77] = 2275814;
minY[78] = 2278840;
minY[79] = 2275867;
minY[80] = 2277555;
minY[81] = 2278449;
minY[82] = 2276862;

minY[83] = 2278880;
minY[84] = 2278874;
minY[85] = 2276947;
minY[86] = 2276259;
minY[87] = 2278871;
minY[88] = 2280827;
minY[89] = 2279641;
minY[90] = 2276952;
minY[91] = 2277019;
minY[92] = 2276399;
minY[93] = 2278615;
minY[94] = 2277927;
minY[95] = 2278613;
minY[96] = 2280208;
minY[97] = 2275796;
minY[98] = 2278153;
minY[99] = 2277690;
minY[100] = 2278158;
minY[101] = 2279748;
minY[102] = 2278218;
minY[103] = 2279748;
minY[104] = 2275933;
minY[105] = 2278619;
minY[106] = 2279433;
minY[107] = 2276586;
minY[108] = 2277713;
minY[109] = 2276589;
minY[110] = 2276362;
minY[111] = 2275769;
minY[112] = 2275909;
minY[113] = 2276379;
minY[114] = 2275659;
minY[115] = 2276740;
minY[116] = 2275770;
minY[117] = 2276993;
minY[118] = 2276384;
minY[119] = 2277264;
minY[120] = 2280405;
minY[121] = 2277841;
minY[122] = 2278197;
minY[123] = 2278623;
minY[124] = 2280629;
minY[125] = 2278614;
minY[126] = 2276966;
minY[127] = 2278614;
minY[128] = 2277100;
minY[129] = 2276971;
minY[130] = 2279307;
minY[131] = 2279389;
minY[132] = 2280561;
minY[133] = 2276693;
minY[134] = 2279904;
minY[135] = 2280208;
minY[136] = 2280806;

minY[137] = 2277690;
minY[138] = 2280172;
minY[139] = 2280406;
minY[140] = 2275912;
minY[141] = 2276865;
minY[142] = 2276840;
minY[143] = 2280402;
minY[144] = 2279107;
minY[145] = 2279893;
minY[146] = 2276856;
minY[147] = 2276990;
minY[148] = 2279102;
minY[149] = 2279100;
minY[150] = 2277233;
minY[151] = 2277610;
minY[152] = 2277136;
minY[153] = 2279718;
minY[154] = 2280394;
minY[155] = 2277097;
minY[156] = 2280849;
minY[157] = 2276634;
minY[158] = 2281246;
minY[159] = 2277304;
minY[160] = 2275909;
minY[161] = 2278755;
minY[162] = 2278758;
minY[163] = 2279105;
minY[164] = 2279107;
minY[165] = 2279107;
minY[166] = 2277326;
minY[167] = 2276890;
minY[168] = 2280171;
minY[169] = 2280659;
minY[170] = 2276906;
minY[171] = 2275555;
minY[172] = 2275924;
minY[173] = 2278818;
minY[174] = 2277191;
minY[175] = 2275836;
minY[176] = 2279331;
minY[177] = 2277171;
minY[178] = 2277738;
minY[179] = 2278450;
minY[180] = 2277093;
minY[181] = 2276801;
minY[182] = 2275694;
minY[183] = 2279864;
minY[184] = 2275818;
minY[185] = 2276818;
minY[186] = 2277384;
minY[187] = 2275678;
minY[188] = 2280149;
minY[189] = 2277026;
minY[190] = 2276283;

minY[191] = 2278367;
minY[192] = 2276794;
minY[193] = 2276294;
minY[194] = 2279773;
minY[195] = 2278305;
minY[196] = 2277396;
minY[197] = 2278216;
minY[198] = 2275577;
minY[199] = 2276275;
minY[200] = 2276779;
minY[201] = 2280719;
minY[202] = 2279768;
minY[203] = 2278060;
minY[204] = 2276708;
minY[205] = 2275982;
minY[206] = 2278304;
minY[207] = 2278757;
minY[208] = 2280096;
minY[209] = 2277929;
minY[210] = 2276629;
minY[211] = 2278142;
minY[212] = 2277127;
minY[213] = 2277124;
minY[214] = 2279791;
minY[215] = 2278350;
minY[216] = 2276857;
minY[217] = 2276874;
minY[218] = 2279073;
minY[219] = 2278444;
minY[220] = 2279561;
minY[221] = 2279762;
minY[222] = 2277022;
minY[223] = 2278409;
minY[224] = 2275732;
minY[225] = 2277126;
minY[226] = 2278965;
minY[227] = 2279452;
minY[228] = 2279624;
minY[229] = 2277147;
minY[230] = 2277127;
minY[231] = 2277006;
minY[232] = 2275704;
minY[233] = 2278828;
minY[234] = 2275559;
minY[235] = 2277181;
minY[236] = 2275792;
minY[237] = 2277133;
minY[238] = 2276402;
minY[239] = 2275946;
minY[240] = 2275927;
minY[241] = 2276956;
minY[242] = 2279778;
minY[243] = 2277586;
minY[244] = 2276474;

minY[245] = 2277435;
minY[246] = 2276585;
minY[247] = 2278102;
minY[248] = 2279308;
minY[249] = 2277376;
minY[250] = 2275944;
minY[251] = 2280224;
minY[252] = 2276300;
minY[253] = 2276994;
minY[254] = 2280908;
minY[255] = 2279853;
minY[256] = 2275580;
minY[257] = 2276392;
minY[258] = 2279083;
minY[259] = 2279483;
minY[260] = 2276270;
minY[261] = 2276567;
minY[262] = 2276968;
minY[263] = 2280917;
minY[264] = 2276944;
minY[265] = 2276057;
minY[266] = 2276849;
minY[267] = 2280190;
minY[268] = 2275588;
minY[269] = 2280833;
minY[270] = 2280348;
minY[271] = 2276950;
minY[272] = 2275580;
minY[273] = 2275565;
minY[274] = 2278941;
minY[275] = 2278946;
minY[276] = 2276245;
minY[277] = 2279374;
minY[278] = 2279801;
minY[279] = 2279730;
minY[280] = 2275709;
minY[281] = 2280673;
minY[282] = 2276150;
minY[283] = 2280265;
minY[284] = 2278940;
minY[285] = 2275522;
minY[286] = 2275557;
minY[287] = 2277904;
minY[288] = 2278035;
minY[289] = 2275617;
minY[290] = 2275717;
minY[291] = 2280963;
minY[292] = 2280095;
minY[293] = 2277791;
minY[294] = 2281086;
minY[295] = 2276456;
minY[296] = 2276077;
minY[297] = 2277051;
minY[298] = 2280714;

minY[299] = 2276451;
minY[300] = 2277901;
minY[301] = 2277157;
minY[302] = 2279266;
minY[303] = 2280630;
minY[304] = 2276598;
minY[305] = 2276572;
minY[306] = 2277804;
minY[307] = 2280616;
minY[308] = 2280749;
minY[309] = 2277893;
minY[310] = 2279116;
minY[311] = 2279462;
minY[312] = 2277674;
minY[313] = 2276624;
minY[314] = 2278458;
minY[315] = 2275801;
minY[316] = 2279032;
minY[317] = 2277042;
minY[318] = 2277766;
minY[319] = 2275739;
minY[320] = 2277805;
minY[321] = 2279026;
minY[322] = 2280427;
minY[323] = 2277728;
minY[324] = 2278730;
minY[325] = 2279899;
minY[326] = 2276591;
minY[327] = 2276483;
minY[328] = 2276820;
minY[329] = 2276581;
minY[330] = 2276986;
minY[331] = 2275814;
minY[332] = 2279322;
minY[333] = 2276257;
minY[334] = 2276590;
minY[335] = 2278259;
minY[336] = 2277009;
minY[337] = 2275921;
minY[338] = 2275912;
minY[339] = 2275732;
minY[340] = 2276399;
minY[341] = 2280721;
minY[342] = 2277334;
minY[343] = 2275618;
minY[344] = 2276130;
minY[345] = 2275654;
minY[346] = 2279809;
minY[347] = 2276191;
minY[348] = 2277879;
minY[349] = 2278443;
minY[350] = 2275665;
minY[351] = 2275566;
minY[352] = 2278451;

minY[353] = 2278718;
minY[354] = 2278723;
minY[355] = 2276133;
minY[356] = 2277878;
minY[357] = 2276991;
minY[358] = 2276900;
minY[359] = 2277323;
minY[360] = 2276920;
minY[361] = 2276768;
minY[362] = 2277959;
minY[363] = 2278448;
minY[364] = 2280205;
minY[365] = 2276562;
minY[366] = 2279911;
minY[367] = 2276541;
minY[368] = 2279702;
minY[369] = 2276274;
minY[370] = 2275985;
minY[371] = 2275534;
minY[372] = 2277050;
minY[373] = 2275520;
minY[374] = 2276345;
minY[375] = 2279559;
minY[376] = 2277468;
minY[377] = 2280140;
minY[378] = 2280235;
minY[379] = 2275976;
minY[380] = 2276961;
minY[381] = 2280223;
minY[382] = 2277029;
minY[383] = 2276206;
minY[384] = 2275764;
minY[385] = 2276081;
minY[386] = 2279923;
minY[387] = 2276094;
minY[388] = 2275896;
minY[389] = 2275861;
minY[390] = 2276106;
minY[391] = 2279467;
minY[392] = 2279468;
minY[393] = 2280414;
minY[394] = 2275833;
minY[395] = 2279711;
minY[396] = 2279443;
minY[397] = 2278628;
minY[398] = 2278628;
minY[399] = 2278773;
minY[400] = 2279455;
minY[401] = 2278769;
minY[402] = 2276120;
minY[403] = 2276446;
minY[404] = 2275965;
minY[405] = 2276765;
minY[406] = 2276769;

minY[407] = 2279599;
minY[408] = 2276657;
minY[409] = 2276409;
minY[410] = 2277366;
minY[411] = 2276405;
minY[412] = 2277131;
minY[413] = 2276207;
minY[414] = 2280897;
minY[415] = 2280147;
minY[416] = 2280126;
minY[417] = 2278874;
minY[418] = 2276085;
minY[419] = 2278651;
minY[420] = 2276337;
minY[421] = 2276089;
minY[422] = 2278872;
minY[423] = 2276710;
minY[424] = 2276194;
minY[425] = 2275950;
minY[426] = 2276286;
minY[427] = 2280147;
minY[428] = 2276724;
minY[429] = 2279912;
minY[430] = 2280328;
minY[431] = 2277956;
minY[432] = 2281179;
minY[433] = 2278231;
minY[434] = 2278013;
minY[435] = 2275948;
minY[436] = 2277078;
minY[437] = 2278222;
minY[438] = 2281183;
minY[439] = 2276267;
minY[440] = 2278651;
minY[441] = 2280692;
minY[442] = 2276110;
minY[443] = 2278215;
minY[444] = 2279621;
minY[445] = 2278215;
minY[446] = 2280917;
minY[447] = 2279288;
minY[448] = 2278219;
minY[449] = 2279781;
minY[450] = 2276158;
minY[451] = 2279799;
minY[452] = 2279693;
minY[453] = 2275986;
minY[454] = 2276785;
minY[455] = 2276793;
minY[456] = 2276151;
minY[457] = 2281059;
minY[458] = 2278425;
minY[459] = 2280792;
minY[460] = 2276502;

minY[461] = 2280142;
minY[462] = 2277956;
minY[463] = 2275792;
minY[464] = 2277783;
minY[465] = 2278182;
minY[466] = 2277350;
minY[467] = 2276492;
minY[468] = 2276132;
minY[469] = 2280211;
minY[470] = 2278527;
minY[471] = 2279450;
minY[472] = 2275816;
minY[473] = 2280427;
minY[474] = 2275808;
minY[475] = 2275551;
minY[476] = 2277015;
minY[477] = 2279801;
minY[478] = 2276064;
minY[479] = 2275747;
minY[480] = 2278865;
minY[481] = 2278859;
minY[482] = 2280358;
minY[483] = 2277059;
minY[484] = 2277053;
minY[485] = 2275729;
minY[486] = 2275655;
minY[487] = 2275526;
minY[488] = 2280004;
minY[489] = 2278284;
minY[490] = 2279333;
minY[491] = 2276794;
minY[492] = 2278538;
minY[493] = 2279999;
minY[494] = 2280547;
minY[495] = 2276166;
minY[496] = 2275575;
minY[497] = 2275442;
minY[498] = 2279776;
minY[499] = 2275869;
minY[500] = 2277376;
minY[501] = 2277377;
minY[502] = 2276489;
minY[503] = 2280846;
minY[504] = 2275887;
minY[505] = 2276347;
minY[506] = 2276896;
minY[507] = 2278298;
minY[508] = 2280745;
minY[509] = 2276753;
minY[510] = 2276247;
minY[511] = 2277528;
minY[512] = 2277213;
minY[513] = 2275992;
minY[514] = 2277206;

minY[515] = 2276036;
minY[516] = 2275635;
minY[517] = 2276889;
minY[518] = 2279962;
minY[519] = 2280496;
minY[520] = 2276331;
minY[521] = 2278336;
minY[522] = 2281622;
minY[523] = 2279958;
minY[524] = 2276702;
minY[525] = 2276182;
minY[526] = 2278275;
minY[527] = 2276515;
minY[528] = 2276962;
minY[529] = 2280191;
minY[530] = 2280765;
minY[531] = 2276374;
minY[532] = 2277155;
minY[533] = 2279262;
minY[534] = 2276488;
minY[535] = 2279265;
minY[536] = 2275758;
minY[537] = 2280682;
minY[538] = 2278906;
minY[539] = 2278857;
minY[540] = 2278860;
minY[541] = 2279979;
minY[542] = 2277796;
minY[543] = 2277880;
minY[544] = 2277920;
minY[545] = 2277476;
minY[546] = 2278832;
minY[547] = 2276129;
minY[548] = 2276212;
minY[549] = 2280394;
minY[550] = 2277801;
minY[551] = 2276434;
minY[552] = 2275983;
minY[553] = 2279875;
minY[554] = 2281611;
minY[555] = 2280411;
minY[556] = 2276152;
minY[557] = 2277761;
minY[558] = 2275863;
minY[559] = 2277231;
minY[560] = 2275525;
minY[561] = 2279375;
minY[562] = 2279378;
minY[563] = 2277918;
minY[564] = 2278796;
minY[565] = 2275732;
minY[566] = 2279682;
minY[567] = 2275951;
minY[568] = 2278372;

minY[569] = 2276061;
minY[570] = 2280484;
minY[571] = 2278405;
minY[572] = 2281600;
minY[573] = 2281604;
minY[574] = 2280045;
minY[575] = 2278818;
minY[576] = 2276423;
minY[577] = 2276042;
minY[578] = 2280836;
minY[579] = 2280721;
minY[580] = 2276433;
minY[581] = 2278223;
minY[582] = 2279654;
minY[583] = 2280565;
minY[584] = 2277197;
minY[585] = 2276380;
minY[586] = 2279888;
minY[587] = 2278833;
minY[588] = 2276104;
minY[589] = 2275698;
minY[590] = 2280158;
minY[591] = 2276118;
minY[592] = 2277870;
minY[593] = 2280192;
minY[594] = 2277764;
minY[595] = 2280163;
minY[596] = 2280257;
minY[597] = 2275748;
minY[598] = 2280204;
minY[599] = 2275760;
minY[600] = 2279637;
minY[601] = 2279618;
minY[602] = 2279483;
minY[603] = 2279453;
minY[604] = 2276098;
minY[605] = 2277834;
minY[606] = 2280308;
minY[607] = 2279424;
minY[608] = 2275926;
minY[609] = 2279447;
minY[610] = 2277129;
minY[611] = 2276317;
minY[612] = 2280886;

maxY[1] = 2277276;
maxY[2] = 2276326;
maxY[3] = 2279085;
maxY[4] = 2279089;
maxY[5] = 2279908;
maxY[6] = 2280356;
maxY[7] = 2276801;
maxY[8] = 2279135;
maxY[9] = 2279135;

maxY[10] = 2277568;
maxY[11] = 2279459;
maxY[12] = 2280137;
maxY[13] = 2277036;
maxY[14] = 2279705;
maxY[15] = 2280862;
maxY[16] = 2277582;
maxY[17] = 2278354;
maxY[18] = 2278742;
maxY[19] = 2280170;
maxY[20] = 2280909;
maxY[21] = 2280818;
maxY[22] = 2277439;
maxY[23] = 2277161;
maxY[24] = 2281007;
maxY[25] = 2280324;
maxY[26] = 2276130;
maxY[27] = 2280402;
maxY[28] = 2275897;
maxY[29] = 2276546;
maxY[30] = 2277181;
maxY[31] = 2278444;
maxY[32] = 2279818;
maxY[33] = 2279168;
maxY[34] = 2279624;
maxY[35] = 2279825;
maxY[36] = 2276119;
maxY[37] = 2276480;
maxY[38] = 2277068;
maxY[39] = 2277203;
maxY[40] = 2279132;
maxY[41] = 2280219;
maxY[42] = 2277091;
maxY[43] = 2277675;
maxY[44] = 2278007;
maxY[45] = 2280460;
maxY[46] = 2279414;
maxY[47] = 2276128;
maxY[48] = 2277984;
maxY[49] = 2278356;
maxY[50] = 2276098;
maxY[51] = 2280479;
maxY[52] = 2275888;
maxY[53] = 2278252;
maxY[54] = 2278235;
maxY[55] = 2276235;
maxY[56] = 2277324;
maxY[57] = 2278151;
maxY[58] = 2275923;
maxY[59] = 2276137;
maxY[60] = 2276116;
maxY[61] = 2277988;
maxY[62] = 2277252;
maxY[63] = 2278498;

maxY[64] = 2280149;
maxY[65] = 2277077;
maxY[66] = 2278720;
maxY[67] = 2279518;
maxY[68] = 2277370;
maxY[69] = 2280347;
maxY[70] = 2277212;
maxY[71] = 2279090;
maxY[72] = 2279093;
maxY[73] = 2275832;
maxY[74] = 2276682;
maxY[75] = 2279547;
maxY[76] = 2279956;
maxY[77] = 2276134;
maxY[78] = 2279160;
maxY[79] = 2276187;
maxY[80] = 2277875;
maxY[81] = 2278769;
maxY[82] = 2277182;
maxY[83] = 2279200;
maxY[84] = 2279194;
maxY[85] = 2277267;
maxY[86] = 2276579;
maxY[87] = 2279191;
maxY[88] = 2281147;
maxY[89] = 2279961;
maxY[90] = 2277272;
maxY[91] = 2277339;
maxY[92] = 2276719;
maxY[93] = 2278935;
maxY[94] = 2278247;
maxY[95] = 2278933;
maxY[96] = 2280528;
maxY[97] = 2276116;
maxY[98] = 2278473;
maxY[99] = 2278010;
maxY[100] = 2278478;
maxY[101] = 2280068;
maxY[102] = 2278538;
maxY[103] = 2280068;
maxY[104] = 2276253;
maxY[105] = 2278939;
maxY[106] = 2279753;
maxY[107] = 2276906;
maxY[108] = 2278033;
maxY[109] = 2276909;
maxY[110] = 2276682;
maxY[111] = 2276089;
maxY[112] = 2276229;
maxY[113] = 2276699;
maxY[114] = 2275979;
maxY[115] = 2277060;
maxY[116] = 2276090;
maxY[117] = 2277313;

maxY[118] = 2276704;
maxY[119] = 2277584;
maxY[120] = 2280725;
maxY[121] = 2278161;
maxY[122] = 2278517;
maxY[123] = 2278943;
maxY[124] = 2280949;
maxY[125] = 2278934;
maxY[126] = 2277286;
maxY[127] = 2278934;
maxY[128] = 2277420;
maxY[129] = 2277291;
maxY[130] = 2279627;
maxY[131] = 2279709;
maxY[132] = 2280881;
maxY[133] = 2277013;
maxY[134] = 2280224;
maxY[135] = 2280528;
maxY[136] = 2281126;
maxY[137] = 2278010;
maxY[138] = 2280492;
maxY[139] = 2280726;
maxY[140] = 2276232;
maxY[141] = 2277185;
maxY[142] = 2277160;
maxY[143] = 2280722;
maxY[144] = 2279427;
maxY[145] = 2280213;
maxY[146] = 2277176;
maxY[147] = 2277310;
maxY[148] = 2279422;
maxY[149] = 2279420;
maxY[150] = 2277553;
maxY[151] = 2277930;
maxY[152] = 2277456;
maxY[153] = 2280038;
maxY[154] = 2280714;
maxY[155] = 2277417;
maxY[156] = 2281169;
maxY[157] = 2276954;
maxY[158] = 2281566;
maxY[159] = 2277624;
maxY[160] = 2276229;
maxY[161] = 2279075;
maxY[162] = 2279078;
maxY[163] = 2279425;
maxY[164] = 2279427;
maxY[165] = 2279427;
maxY[166] = 2277646;
maxY[167] = 2277210;
maxY[168] = 2280491;
maxY[169] = 2280979;
maxY[170] = 2277226;
maxY[171] = 2275875;

maxY[172] = 2276244;
maxY[173] = 2279138;
maxY[174] = 2277511;
maxY[175] = 2276156;
maxY[176] = 2279651;
maxY[177] = 2277491;
maxY[178] = 2278058;
maxY[179] = 2278770;
maxY[180] = 2277413;
maxY[181] = 2277121;
maxY[182] = 2276014;
maxY[183] = 2280184;
maxY[184] = 2276138;
maxY[185] = 2277138;
maxY[186] = 2277704;
maxY[187] = 2275998;
maxY[188] = 2280469;
maxY[189] = 2277346;
maxY[190] = 2276603;
maxY[191] = 2278687;
maxY[192] = 2277114;
maxY[193] = 2276614;
maxY[194] = 2280093;
maxY[195] = 2278625;
maxY[196] = 2277716;
maxY[197] = 2278536;
maxY[198] = 2275897;
maxY[199] = 2276595;
maxY[200] = 2277099;
maxY[201] = 2281039;
maxY[202] = 2280088;
maxY[203] = 2278380;
maxY[204] = 2277028;
maxY[205] = 2276302;
maxY[206] = 2278624;
maxY[207] = 2279077;
maxY[208] = 2280416;
maxY[209] = 2278249;
maxY[210] = 2276949;
maxY[211] = 2278462;
maxY[212] = 2277447;
maxY[213] = 2277444;
maxY[214] = 2280111;
maxY[215] = 2278670;
maxY[216] = 2277177;
maxY[217] = 2277194;
maxY[218] = 2279393;
maxY[219] = 2278764;
maxY[220] = 2279881;
maxY[221] = 2280082;
maxY[222] = 2277342;
maxY[223] = 2278729;
maxY[224] = 2276052;
maxY[225] = 2277446;

maxY[226] = 2279285;
maxY[227] = 2279772;
maxY[228] = 2279944;
maxY[229] = 2277467;
maxY[230] = 2277447;
maxY[231] = 2277326;
maxY[232] = 2276024;
maxY[233] = 2279148;
maxY[234] = 2275879;
maxY[235] = 2277501;
maxY[236] = 2276112;
maxY[237] = 2277453;
maxY[238] = 2276722;
maxY[239] = 2276266;
maxY[240] = 2276247;
maxY[241] = 2277276;
maxY[242] = 2280098;
maxY[243] = 2277906;
maxY[244] = 2276794;
maxY[245] = 2277755;
maxY[246] = 2276905;
maxY[247] = 2278422;
maxY[248] = 2279628;
maxY[249] = 2277696;
maxY[250] = 2276264;
maxY[251] = 2280544;
maxY[252] = 2276620;
maxY[253] = 2277314;
maxY[254] = 2281228;
maxY[255] = 2280173;
maxY[256] = 2275900;
maxY[257] = 2276712;
maxY[258] = 2279403;
maxY[259] = 2279803;
maxY[260] = 2276590;
maxY[261] = 2276887;
maxY[262] = 2277288;
maxY[263] = 2281237;
maxY[264] = 2277264;
maxY[265] = 2276377;
maxY[266] = 2277169;
maxY[267] = 2280510;
maxY[268] = 2275908;
maxY[269] = 2281153;
maxY[270] = 2280668;
maxY[271] = 2277270;
maxY[272] = 2275900;
maxY[273] = 2275885;
maxY[274] = 2279261;
maxY[275] = 2279266;
maxY[276] = 2276565;
maxY[277] = 2279694;
maxY[278] = 2280121;
maxY[279] = 2280050;

maxY[280] = 2276029;
maxY[281] = 2280993;
maxY[282] = 2276470;
maxY[283] = 2280585;
maxY[284] = 2279260;
maxY[285] = 2275842;
maxY[286] = 2275877;
maxY[287] = 2278224;
maxY[288] = 2278355;
maxY[289] = 2275937;
maxY[290] = 2276037;
maxY[291] = 2281283;
maxY[292] = 2280415;
maxY[293] = 2278111;
maxY[294] = 2281406;
maxY[295] = 2276776;
maxY[296] = 2276397;
maxY[297] = 2277371;
maxY[298] = 2281034;
maxY[299] = 2276771;
maxY[300] = 2278221;
maxY[301] = 2277477;
maxY[302] = 2279586;
maxY[303] = 2280950;
maxY[304] = 2276918;
maxY[305] = 2276892;
maxY[306] = 2278124;
maxY[307] = 2280936;
maxY[308] = 2281069;
maxY[309] = 2278213;
maxY[310] = 2279436;
maxY[311] = 2279782;
maxY[312] = 2277994;
maxY[313] = 2276944;
maxY[314] = 2278778;
maxY[315] = 2276121;
maxY[316] = 2279352;
maxY[317] = 2277362;
maxY[318] = 2278086;
maxY[319] = 2276059;
maxY[320] = 2278125;
maxY[321] = 2279346;
maxY[322] = 2280747;
maxY[323] = 2278048;
maxY[324] = 2279050;
maxY[325] = 2280219;
maxY[326] = 2276911;
maxY[327] = 2276803;
maxY[328] = 2277140;
maxY[329] = 2276901;
maxY[330] = 2277306;
maxY[331] = 2276134;
maxY[332] = 2279642;
maxY[333] = 2276577;

maxY[334] = 2276910;
maxY[335] = 2278579;
maxY[336] = 2277329;
maxY[337] = 2276241;
maxY[338] = 2276232;
maxY[339] = 2276052;
maxY[340] = 2276719;
maxY[341] = 2281041;
maxY[342] = 2277654;
maxY[343] = 2275938;
maxY[344] = 2276450;
maxY[345] = 2275974;
maxY[346] = 2280129;
maxY[347] = 2276511;
maxY[348] = 2278199;
maxY[349] = 2278763;
maxY[350] = 2275985;
maxY[351] = 2275886;
maxY[352] = 2278771;
maxY[353] = 2279038;
maxY[354] = 2279043;
maxY[355] = 2276453;
maxY[356] = 2278198;
maxY[357] = 2277311;
maxY[358] = 2277220;
maxY[359] = 2277643;
maxY[360] = 2277240;
maxY[361] = 2277088;
maxY[362] = 2278279;
maxY[363] = 2278768;
maxY[364] = 2280525;
maxY[365] = 2276882;
maxY[366] = 2280231;
maxY[367] = 2276861;
maxY[368] = 2280022;
maxY[369] = 2276594;
maxY[370] = 2276305;
maxY[371] = 2275854;
maxY[372] = 2277370;
maxY[373] = 2275840;
maxY[374] = 2276665;
maxY[375] = 2279879;
maxY[376] = 2277788;
maxY[377] = 2280460;
maxY[378] = 2280555;
maxY[379] = 2276296;
maxY[380] = 2277281;
maxY[381] = 2280543;
maxY[382] = 2277349;
maxY[383] = 2276526;
maxY[384] = 2276084;
maxY[385] = 2276401;
maxY[386] = 2280243;
maxY[387] = 2276414;

maxY[388] = 2276216;
maxY[389] = 2276181;
maxY[390] = 2276426;
maxY[391] = 2279787;
maxY[392] = 2279788;
maxY[393] = 2280734;
maxY[394] = 2276153;
maxY[395] = 2280031;
maxY[396] = 2279763;
maxY[397] = 2278948;
maxY[398] = 2278948;
maxY[399] = 2279093;
maxY[400] = 2279775;
maxY[401] = 2279089;
maxY[402] = 2276440;
maxY[403] = 2276766;
maxY[404] = 2276285;
maxY[405] = 2277085;
maxY[406] = 2277089;
maxY[407] = 2279919;
maxY[408] = 2276977;
maxY[409] = 2276729;
maxY[410] = 2277686;
maxY[411] = 2276725;
maxY[412] = 2277451;
maxY[413] = 2276527;
maxY[414] = 2281217;
maxY[415] = 2280467;
maxY[416] = 2280446;
maxY[417] = 2279194;
maxY[418] = 2276405;
maxY[419] = 2278971;
maxY[420] = 2276657;
maxY[421] = 2276409;
maxY[422] = 2279192;
maxY[423] = 2277030;
maxY[424] = 2276514;
maxY[425] = 2276270;
maxY[426] = 2276606;
maxY[427] = 2280467;
maxY[428] = 2277044;
maxY[429] = 2280232;
maxY[430] = 2280648;
maxY[431] = 2278276;
maxY[432] = 2281499;
maxY[433] = 2278551;
maxY[434] = 2278333;
maxY[435] = 2276268;
maxY[436] = 2277398;
maxY[437] = 2278542;
maxY[438] = 2281503;
maxY[439] = 2276587;
maxY[440] = 2278971;
maxY[441] = 2281012;

maxY[442] = 2276430;
maxY[443] = 2278535;
maxY[444] = 2279941;
maxY[445] = 2278535;
maxY[446] = 2281237;
maxY[447] = 2279608;
maxY[448] = 2278539;
maxY[449] = 2280101;
maxY[450] = 2276478;
maxY[451] = 2280119;
maxY[452] = 2280013;
maxY[453] = 2276306;
maxY[454] = 2277105;
maxY[455] = 2277113;
maxY[456] = 2276471;
maxY[457] = 2281379;
maxY[458] = 2278745;
maxY[459] = 2281112;
maxY[460] = 2276822;
maxY[461] = 2280462;
maxY[462] = 2278276;
maxY[463] = 2276112;
maxY[464] = 2278103;
maxY[465] = 2278502;
maxY[466] = 2277670;
maxY[467] = 2276812;
maxY[468] = 2276452;
maxY[469] = 2280531;
maxY[470] = 2278847;
maxY[471] = 2279770;
maxY[472] = 2276136;
maxY[473] = 2280747;
maxY[474] = 2276128;
maxY[475] = 2275871;
maxY[476] = 2277335;
maxY[477] = 2280121;
maxY[478] = 2276384;
maxY[479] = 2276067;
maxY[480] = 2279185;
maxY[481] = 2279179;
maxY[482] = 2280678;
maxY[483] = 2277379;
maxY[484] = 2277373;
maxY[485] = 2276049;
maxY[486] = 2275975;
maxY[487] = 2275846;
maxY[488] = 2280324;
maxY[489] = 2278604;
maxY[490] = 2279653;
maxY[491] = 2277114;
maxY[492] = 2278858;
maxY[493] = 2280319;
maxY[494] = 2280867;
maxY[495] = 2276486;

maxY[496] = 2275895;
maxY[497] = 2275762;
maxY[498] = 2280096;
maxY[499] = 2276189;
maxY[500] = 2277696;
maxY[501] = 2277697;
maxY[502] = 2276809;
maxY[503] = 2281166;
maxY[504] = 2276207;
maxY[505] = 2276667;
maxY[506] = 2277216;
maxY[507] = 2278618;
maxY[508] = 2281065;
maxY[509] = 2277073;
maxY[510] = 2276567;
maxY[511] = 2277848;
maxY[512] = 2277533;
maxY[513] = 2276312;
maxY[514] = 2277526;
maxY[515] = 2276356;
maxY[516] = 2275955;
maxY[517] = 2277209;
maxY[518] = 2280282;
maxY[519] = 2280816;
maxY[520] = 2276651;
maxY[521] = 2278656;
maxY[522] = 2281942;
maxY[523] = 2280278;
maxY[524] = 2277022;
maxY[525] = 2276502;
maxY[526] = 2278595;
maxY[527] = 2276835;
maxY[528] = 2277282;
maxY[529] = 2280511;
maxY[530] = 2281085;
maxY[531] = 2276694;
maxY[532] = 2277475;
maxY[533] = 2279582;
maxY[534] = 2276808;
maxY[535] = 2279585;
maxY[536] = 2276078;
maxY[537] = 2281002;
maxY[538] = 2279226;
maxY[539] = 2279177;
maxY[540] = 2279180;
maxY[541] = 2280299;
maxY[542] = 2278116;
maxY[543] = 2278200;
maxY[544] = 2278240;
maxY[545] = 2277796;
maxY[546] = 2279152;
maxY[547] = 2276449;
maxY[548] = 2276532;
maxY[549] = 2280714;

maxY[550] = 2278121;
maxY[551] = 2276754;
maxY[552] = 2276303;
maxY[553] = 2280195;
maxY[554] = 2281931;
maxY[555] = 2280731;
maxY[556] = 2276472;
maxY[557] = 2278081;
maxY[558] = 2276183;
maxY[559] = 2277551;
maxY[560] = 2275845;
maxY[561] = 2279695;
maxY[562] = 2279698;
maxY[563] = 2278238;
maxY[564] = 2279116;
maxY[565] = 2276052;
maxY[566] = 2280002;
maxY[567] = 2276271;
maxY[568] = 2278692;
maxY[569] = 2276381;
maxY[570] = 2280804;
maxY[571] = 2278725;
maxY[572] = 2281920;
maxY[573] = 2281924;
maxY[574] = 2280365;
maxY[575] = 2279138;
maxY[576] = 2276743;
maxY[577] = 2276362;
maxY[578] = 2281156;
maxY[579] = 2281041;
maxY[580] = 2276753;
maxY[581] = 2278543;
maxY[582] = 2279974;
maxY[583] = 2280885;
maxY[584] = 2277517;
maxY[585] = 2276700;
maxY[586] = 2280208;
maxY[587] = 2279153;
maxY[588] = 2276424;
maxY[589] = 2276018;
maxY[590] = 2280478;
maxY[591] = 2276438;
maxY[592] = 2278190;
maxY[593] = 2280512;
maxY[594] = 2278084;
maxY[595] = 2280483;
maxY[596] = 2280577;
maxY[597] = 2276068;
maxY[598] = 2280524;
maxY[599] = 2276080;
maxY[600] = 2279957;
maxY[601] = 2279938;
maxY[602] = 2279803;
maxY[603] = 2279773;

```

maxY[604] = 2276418;
maxY[605] = 2278154;
maxY[606] = 2280628;
maxY[607] = 2279744;
maxY[608] = 2276246;
maxY[609] = 2279767;
maxY[610] = 2277449;
maxY[611] = 2276637;
maxY[612] = 2281206;

```

```

////////////////////////////////////

```

```

return 0;
}

```

```

int AAPIInit()
{

```

```

    FILE * logfile;
    if((logfile=fopen("c:/API/sensor.csv","a")) != NULL)
    {
        fprintf(logfile,"No. Sensor, ");
        fprintf(logfile,"ID vehiculo,");
        fprintf(logfile,"Tiempo de Simulacion \n");

        fclose(logfile);
    }

```

```

return 0;
}

```

```

int AAPIManage(double time, double timeSta, double timeTrans, double
acycle)
{

```

```

    InfVeh infVeh;
    int nba = AKIInfNetNbSectionsANG();
    for(int i=0; i<nba;i++){
        int id = AKIInfNetGetSectionANGId(i);
        int nb = AKIVehStateGetNbVehiclesSection(id,true);
        for (int j=0; j<nb;j++){
            infVeh = AKIVehStateGetVehicleInfSection(id,j);
            //sprintf(astring,"Vehicle %d , Section %d , Lane %d,
CurrentPos %f, CoordX %f,CoordY %f, CurrentSpeed %f,Distance to end
%f\n",infVeh.idVeh, infVeh.idSection, infVeh.numberLane,
infVeh.CurrentPos,infVeh.xCurrentPos,infVeh.yCurrentPos,infVeh.CurrentSpe
ed, infVeh.distance2End);
            //AKIPrintString(astring);

```

```

double coordx=infVeh.xCurrentPos;
double coordy=infVeh.yCurrentPos;
for (s=1; s<=612; s++) { //for para coordenadas X
    if ((coordy >= minY[s]) && (coordy <= maxY[s]))
    {
        if ((coordx >= minX[s]) && (coordx <= maxX[s]))
        {
            //sprintf(astring, "Sensor: %d\t, ID VEH:
%d\t, TIEMPO: %f\n", s, infVeh.idVeh, time);
            //AKIPrintString(astring);
            if (time > 599)
            {
                idvehi=infVeh.idVeh;
                idsensor=s;

                if (chequeo [idsensor][idvehi] == 0)
                {
                    sprintf(astring, "Sensor:
%d\t, ID VEH: %d\t, TIEMPO: %f\t, CoordX %f\t, CoordY %f\n", s,
infVeh.idVeh, time, infVeh.xCurrentPos, infVeh.yCurrentPos);
                    AKIPrintString(astring);

                    FILE * logfile;

                    if((logfile=fopen("c:/API/sensor.csv","a")) != NULL)
                    {
                        fprintf(logfile,"%d,", s);

                        fprintf(logfile,"%d,", infVeh.idVeh);

                        fprintf(logfile,"%f,", time);

                        fprintf (logfile, "%f,",
infVeh.xCurrentPos);
                        fprintf (logfile, "%f \n",
infVeh.yCurrentPos);

                        fclose(logfile);

                    }

                    chequeo [idsensor][idvehi] = 1;
                    //cambiar a 1 si solo se registra una vez, a 0 si no importa

                }

            }

        }

    }

}
}
}
}

```

```

    return 0;
}

int AAPIPostManage(double time, double timeSta, double timeTrans, double
acycle)
{
    return 0;
}

int AAPIFinish()
{
    for(b=1; b<=612; b++)
    {
        for (c=1;c<=10000;c++)
        {
            conteoTotalSensor[b]= conteoTotalSensor[b]+ chequeo
[b][c] ;
        }

        FILE * logfile;
        if((logfile=fopen("c:/API/cantidadxcontador.csv","a")) !=
NULL)
        {
            fprintf(logfile,"%d", b);
            fprintf(logfile,"%d \n", conteoTotalSensor[b]);
            fclose(logfile);
        }
    }
    return 0;
}

int AAPIUnLoad()
{
    return 0;
}

```

7.4 Pares origen-destino generado con la rutina

Sensor de Origen	Viajes registrados	Sensor de Destino	Viajes registrados
5057	42	5057	0

1170	7	1170	0
1806	2	1806	0
1050	29	1050	0
1409	7	1409	5
1599	4	1599	0
1463	3	1463	4
1794	13	1794	0
1578	101	1578	0
1239	11	1239	0
1120	31	1120	0
1186	19	1186	0
1827	89	1827	0
23248	4	23248	0
5549	10	5549	165
4839	3	4839	0
1332	32	1332	0
880	8	880	0
852	23	852	0
23332	2	23332	0
1348	24	1348	0
367	21	367	0
1586	4	1586	0
331	19	331	0
505	7	505	55
1138	21	1138	0
1435	59	1435	0
1485	2	1485	0
495	15	495	0
891	39	891	0
527	71	527	11
980	1	980	0
1483	12	1483	0
559	17	559	0
1711	71	1711	13
730	6	730	12
373	14	373	30
561	35	561	0
689	21	689	0
5301	1	5301	0
979	3	979	6
1826	1	1826	0

834	13	834	0
1372	10	1372	0
1160	31	1160	0
1061	9	1061	11
994	16	994	0
1014	11	1014	0
1164	14	1164	0
1405	22	1405	3
1846	11	1846	0
1264	2	1264	0
766	18	766	0
19404	14	19404	0
1033	21	1033	0
5563	1	5563	0
5363	10	5363	0
673	27	673	0
441	13	441	0
1059	6	1059	0
1541	17	1541	0
1035	23	1035	0
1104	2	1104	0
482	9	482	3
1001	17	1001	0
18512	3	18512	0
1735	23	1735	0
1821	1	1821	0
1098	117	1098	0
761	20	761	0
19269	132	19269	0
1165	37	1165	0
974	2	974	0
952	6	952	0
1666	43	1666	0
1340	29	1340	0
941	1	941	0
1051	23	1051	0
768	3	768	0
23031	4	23031	0
1223	36	1223	0
1224	2	1224	0
23039	1	23039	0

1567	10	1567	0
1143	7	1143	0
23460	18	23460	4
23038	1	23038	0
675	4	675	8
1110	3	1110	0
977	8	977	0
734	99	734	0
431	2	431	43
1532	2	1532	0
1698	17	1698	0
1086	3	1086	0
554	2	554	0
1728	1	1728	0
1166	7	1166	0
467	4	467	0
798	29	798	0
1450	2	1450	0
899	2	899	0
1330	14	1330	0
1449	5	1449	0
802	3	802	180
625	50	625	0
1707	8	1707	0
389	25	389	0
1113	2	1113	0
707	12	707	0
1759	8	1759	1
23099	8	23099	18
1207	5	1207	0
843	29	843	0
551	1	551	26
1037	1	1037	0
1840	9	1840	0
1474	13	1474	0
1817	24	1817	5
1842	8	1842	0
375	2	375	0
872	3	872	0
634	1	634	0
19363	5	19363	0

1180	89	1180	0
1703	2	1703	0
1259	9	1259	0
901	23	901	0
1472	16	1472	0
923	3	923	0
5530	1	5530	0
985	34	985	2
1034	1	1034	0
919	3	919	29
805	3	805	4
436	3	436	0
1149	32	1149	0
336	14	336	0
630	15	630	0
18231	13	18231	0
657	16	657	0
660	6	660	0
454	1	454	0
950	38	950	32
1082	5	1082	9
4964	5	4964	0
1460	2	1460	0
5378	29	5378	0
1328	15	1328	0
1545	8	1545	0
819	7	819	0
956	3	956	0
1029	2	1029	0
656	1	656	0
1634	4	1634	0
1751	4	1751	0
17818	8	17818	0
1777	13	1777	4
1681	1	1681	0
474	30	474	0
751	2	751	77
1358	6	1358	0
939	1	939	0
1755	22	1755	0
1126	1	1126	0

391	2	391	0
379	5	379	0
821	2	821	0
1175	11	1175	0
562	47	562	0
491	1	491	1
796	3	796	0
812	4	812	0
1248	4	1248	0
504	45	504	0
1738	2	1738	0
1266	9	1266	0
1564	1	1564	0
1339	6	1339	0
539	5	539	0
1458	3	1458	0
1470	22	1470	57
5064	7	5064	67
1251	2	1251	0
1338	3	1338	0
767	8	767	0
579	11	579	67
1642	13	1642	0
717	3	717	0
1027	1	1027	0
885	1	885	0
1376	9	1376	3
20275	3	20275	0
5244	13	5244	2
1220	2	1220	0
1221	22	1221	0
434	1	434	9
22911	1	22911	18
1588	8	1588	0
22920	2	22920	0
1768	2	1768	0

7.5 Código fuente para generación de pares O-D, vinculación de sensores y centroides, y estimación de matriz O-D

```
#!/usr/bin/perl

use lib qw(..../);
use Text::CSV_XS;

my @dista = (0) x 40000;
my @distamin = (10000) x 40000;
my @relacion = (0) x 40000;
my $num=1;

my $file = "Coord_centroide.csv"; #####Este archivo contiene las
coordenadas obtenidas de GIS
open my $fh, "<", $file or die "$file: $!";

my $csv = Text::CSV_XS->new ({ binary => 1, auto_diag => 1 });
$csv->getline ($fh); # skip header
while (my $row = $csv->getline ($fh))
{
    @cid[$num]=$row->[1];
    @cx[$num]=$row->[6];
    @cy[$num] =$row->[7];
    $num++;
}
close $fh;

$num=1;
my $file2 = "Coord_sensor.csv";
open my $fh2, "<", $file2 or die "$file2: $!";

my $csv2 = Text::CSV_XS->new ({ binary => 1, auto_diag => 1 });
$csv2->getline ($fh2); # skip header
while (my $row2 = $csv2->getline ($fh2))
{
    @sid[$num]=$row2->[1];
    @sx[$num]=$row2->[11];
    @sy[$num] =$row2->[12];
    $num++;
}
close $fh2;

for($c=1;$c<=611;$c++) #sensores
{
    for($d=1; $d<=111; $d++) #centroides
    {
```

```

        $X=@sx[$c]-@cx[$d];
        $XX=$X**2;
        $Y= @sy[$c]-@cy[$d];
        $YY= $Y**2;
        $suma= $XX+$YY;
        $dista[$c]= sqrt $suma;

        if(@dista[$c]<@distamin[$c])
        {
            @distamin[$c]= @dista[$c];
            @relacion[$c]= @cid[$d];
        }
    }
}
for ($b=1;$b<=611;$b++) # CANTIDAD TOTAL DE SENSORES
{
    if (@relacion[$b]!=0)
    {
        print "Sensor: @sid[$b]; Centroide: @relacion[$b] \n";
    }
}
print "\n \n \n\n\n\n\n\n\n";

my $i=0;
my $max=0;
my @contaveh=(0)x 40000;
my @veh=(0)x 40000;
my @torigen=(0)x 40000;
my @tdestino=(0)x 40000;

my $file3 = "Deteccion_sensores.csv"; #####Son los datos obtenidos
con la API en simulación
open my $fh3, "<", $file3 or die "$file3: $!";

my $csv3 = Text::CSV_XS->new ({ binary => 1, auto_diag => 1 });
$csv3->getline ($fh3); # skip header
while (my $row3 = $csv3->getline ($fh3))
{
    my $sen=$row3->[0];
    my $veh =$row3->[1];
    my $tiem=$row3->[2];

    if(@veh[$veh]== 0)
    {
        @Origen[$veh]=$sen;
        @Destino[$veh]=$sen;
        @veh[$veh]=1;
    }
    else
    {
        if(@Destino[$veh]!=$sen)

```

```

        {
            @Destino[$veh]=$sen
        }
    }

    # $sensores[$sen] [$veh]=$tiem;
    if( $max<$veh)
    {
        $max=$veh;
    }
}
close $fh3;

for($c=0;$c<$max;$c++)
{
    if(@Origen[$c] != @Destino[$c])
    {
        @torigen[@Origen[$c]]=@torigen[@Origen[$c]]+1;
        @tdestino[@Destino[$c]]=@tdestino[@Destino[$c]]+1;
    }
}
for ($b=1;$b<=612;$b++)
{
    if (@torigen[$b]!=0)
    {
        print "Origen @sid[$b]: @torigen[$b]; \t";
        print "Destino @sid[$b]: @tdestino[$b] \n";
    }
}

print "\n \n \n\n\n\n\n\n\n";

my @totalcentroideorigen=(0)x 200;
my @totalcentroidedestino=(0)x 200;

for($f=1;$f<111;$f++)# leer todos los centroides
{
    for($g=1;$g<611;$g++) # leer todos los sensores
    {
        if (@relacion[$g]==@cid[$f]) #si los sensores están viculados
al centroide se suman
        {
            @totalcentroideorigen[@cid[$f]]=
@totalcentroideorigen[@cid[$f]] + @torigen[$g];
            @totalcentroidedestino[@cid[$f]]=
@totalcentroidedestino[@cid[$f]] + @tdestino[$g];
        }
    }
    print "Centroide_Origen @cid[$f]: @totalcentroideorigen[@cid[$f]]
\t Centroide_Destino @cid[$f]: @totalcentroidedestino[@cid[$f]] \n";
}

```

}

7.6 Resultados completos de la vincualción entre sensor y centoride

Sensor	5057	vinculado con	Centroide	22908
Sensor	1170	vinculado con	Centroide	22805
Sensor	1806	vinculado con	Centroide	22888
Sensor	5813	vinculado con	Centroide	22888
Sensor	5517	vinculado con	Centroide	22849
Sensor	1050	vinculado con	Centroide	22896
Sensor	1409	vinculado con	Centroide	22874
Sensor	1599	vinculado con	Centroide	22901
Sensor	5786	vinculado con	Centroide	22901
Sensor	1463	vinculado con	Centroide	22882
Sensor	1503	vinculado con	Centroide	22892
Sensor	1794	vinculado con	Centroide	22898
Sensor	1578	vinculado con	Centroide	22883
Sensor	1239	vinculado con	Centroide	22843
Sensor	1120	vinculado con	Centroide	22802
Sensor	1186	vinculado con	Centroide	22902
Sensor	1827	vinculado con	Centroide	22855
Sensor	23248	vinculado con	Centroide	22910
Sensor	5549	vinculado con	Centroide	22897
Sensor	4839	vinculado con	Centroide	22802
Sensor	1332	vinculado con	Centroide	22844
Sensor	880	vinculado con	Centroide	22868
Sensor	1079	vinculado con	Centroide	22908
Sensor	852	vinculado con	Centroide	22802
Sensor	23332	vinculado con	Centroide	22876
Sensor	1348	vinculado con	Centroide	22825
Sensor	367	vinculado con	Centroide	22841
Sensor	1586	vinculado con	Centroide	22826
Sensor	331	vinculado con	Centroide	22806
Sensor	1132	vinculado con	Centroide	22908
Sensor	505	vinculado con	Centroide	22885
Sensor	1138	vinculado con	Centroide	22897
Sensor	1435	vinculado con	Centroide	22799
Sensor	1485	vinculado con	Centroide	22892
Sensor	495	vinculado con	Centroide	22843
Sensor	891	vinculado con	Centroide	22830

Sensor 527	vinculado con	Centroide	22899
Sensor 750	vinculado con	Centroide	22883
Sensor 980	vinculado con	Centroide	22894
Sensor 1483	vinculado con	Centroide	22892
Sensor 559	vinculado con	Centroide	22897
Sensor 1711	vinculado con	Centroide	22869
Sensor 730	vinculado con	Centroide	22902
Sensor 373	vinculado con	Centroide	22895
Sensor 561	vinculado con	Centroide	22811
Sensor 689	vinculado con	Centroide	22892
Sensor 5301	vinculado con	Centroide	22825
Sensor 979	vinculado con	Centroide	22886
Sensor 1826	vinculado con	Centroide	22855
Sensor 4987	vinculado con	Centroide	22834
Sensor 834	vinculado con	Centroide	22859
Sensor 1372	vinculado con	Centroide	22809
Sensor 1160	vinculado con	Centroide	22855
Sensor 1061	vinculado con	Centroide	22885
Sensor 994	vinculado con	Centroide	22805
Sensor 1014	vinculado con	Centroide	22875
Sensor 1164	vinculado con	Centroide	22819
Sensor 1405	vinculado con	Centroide	22808
Sensor 1846	vinculado con	Centroide	22891
Sensor 1264	vinculado con	Centroide	22824
Sensor 766	vinculado con	Centroide	22819
Sensor 19404	vinculado con	Centroide	22870
Sensor 1033	vinculado con	Centroide	22887
Sensor 5563	vinculado con	Centroide	22897
Sensor 5363	vinculado con	Centroide	22899
Sensor 673	vinculado con	Centroide	22905
Sensor 441	vinculado con	Centroide	22892
Sensor 1059	vinculado con	Centroide	22856
Sensor 1315	vinculado con	Centroide	22896
Sensor 894	vinculado con	Centroide	22894
Sensor 1799	vinculado con	Centroide	22888
Sensor 5812	vinculado con	Centroide	22888
Sensor 1354	vinculado con	Centroide	22826
Sensor 1541	vinculado con	Centroide	22856
Sensor 1056	vinculado con	Centroide	22812
Sensor 1035	vinculado con	Centroide	22843
Sensor 1104	vinculado con	Centroide	22831

Sensor 482	vinculado con	Centroide	22860
Sensor 507	vinculado con	Centroide	22831
Sensor 1001	vinculado con	Centroide	22889
Sensor 18512	vinculado con	Centroide	22885
Sensor 1624	vinculado con	Centroide	22899
Sensor 1735	vinculado con	Centroide	22879
Sensor 17750	vinculado con	Centroide	22879
Sensor 1821	vinculado con	Centroide	22908
Sensor 1098	vinculado con	Centroide	22880
Sensor 1482	vinculado con	Centroide	22892
Sensor 761	vinculado con	Centroide	22802
Sensor 1324	vinculado con	Centroide	22843
Sensor 610	vinculado con	Centroide	22870
Sensor 947	vinculado con	Centroide	22875
Sensor 19269	vinculado con	Centroide	22814
Sensor 1165	vinculado con	Centroide	22799
Sensor 337	vinculado con	Centroide	22855
Sensor 974	vinculado con	Centroide	22799
Sensor 952	vinculado con	Centroide	22841
Sensor 1367	vinculado con	Centroide	22851
Sensor 1666	vinculado con	Centroide	22853
Sensor 1340	vinculado con	Centroide	22902
Sensor 941	vinculado con	Centroide	22887
Sensor 1051	vinculado con	Centroide	22877
Sensor 768	vinculado con	Centroide	22887
Sensor 1002	vinculado con	Centroide	22877
Sensor 23031	vinculado con	Centroide	22837
Sensor 976	vinculado con	Centroide	22799
Sensor 629	vinculado con	Centroide	22843
Sensor 1223	vinculado con	Centroide	22852
Sensor 1206	vinculado con	Centroide	22904
Sensor 1224	vinculado con	Centroide	22852
Sensor 19980	vinculado con	Centroide	22880
Sensor 23039	vinculado con	Centroide	22804
Sensor 1567	vinculado con	Centroide	22840
Sensor 900	vinculado con	Centroide	22880
Sensor 1143	vinculado con	Centroide	22826
Sensor 23460	vinculado con	Centroide	22870
Sensor 23038	vinculado con	Centroide	22804
Sensor 675	vinculado con	Centroide	22870
Sensor 888	vinculado con	Centroide	22814

Sensor 1188	vinculado con	Centroide	22902
Sensor 394	vinculado con	Centroide	22802
Sensor 1645	vinculado con	Centroide	22819
Sensor 1110	vinculado con	Centroide	22887
Sensor 842	vinculado con	Centroide	22799
Sensor 977	vinculado con	Centroide	22821
Sensor 405	vinculado con	Centroide	22799
Sensor 734	vinculado con	Centroide	22894
Sensor 534	vinculado con	Centroide	22799
Sensor 431	vinculado con	Centroide	22868
Sensor 1532	vinculado con	Centroide	22894
Sensor 1444	vinculado con	Centroide	22892
Sensor 920	vinculado con	Centroide	22843
Sensor 890	vinculado con	Centroide	22802
Sensor 1698	vinculado con	Centroide	22856
Sensor 1086	vinculado con	Centroide	22897
Sensor 484	vinculado con	Centroide	22841
Sensor 554	vinculado con	Centroide	22802
Sensor 1728	vinculado con	Centroide	22889
Sensor 1687	vinculado con	Centroide	22859
Sensor 658	vinculado con	Centroide	22802
Sensor 1633	vinculado con	Centroide	22806
Sensor 1166	vinculado con	Centroide	22833
Sensor 467	vinculado con	Centroide	22870
Sensor 590	vinculado con	Centroide	22802
Sensor 798	vinculado con	Centroide	22799
Sensor 773	vinculado con	Centroide	22877
Sensor 471	vinculado con	Centroide	22850
Sensor 1184	vinculado con	Centroide	22882
Sensor 1074	vinculado con	Centroide	22799
Sensor 918	vinculado con	Centroide	22799
Sensor 1450	vinculado con	Centroide	22886
Sensor 899	vinculado con	Centroide	22902
Sensor 759	vinculado con	Centroide	22868
Sensor 1706	vinculado con	Centroide	22847
Sensor 1330	vinculado con	Centroide	22845
Sensor 1449	vinculado con	Centroide	22870
Sensor 802	vinculado con	Centroide	22822
Sensor 625	vinculado con	Centroide	22883
Sensor 1707	vinculado con	Centroide	22817
Sensor 389	vinculado con	Centroide	22894

Sensor 1275	vinculado con	Centroide	22840
Sensor 1805	vinculado con	Centroide	22888
Sensor 5814	vinculado con	Centroide	22888
Sensor 677	vinculado con	Centroide	22799
Sensor 390	vinculado con	Centroide	22799
Sensor 757	vinculado con	Centroide	22799
Sensor 1113	vinculado con	Centroide	22894
Sensor 487	vinculado con	Centroide	22870
Sensor 707	vinculado con	Centroide	22859
Sensor 1759	vinculado con	Centroide	22844
Sensor 19398	vinculado con	Centroide	22870
Sensor 23099	vinculado con	Centroide	22808
Sensor 1207	vinculado con	Centroide	22805
Sensor 5439	vinculado con	Centroide	22860
Sensor 843	vinculado con	Centroide	22894
Sensor 23036	vinculado con	Centroide	22829
Sensor 914	vinculado con	Centroide	22843
Sensor 837	vinculado con	Centroide	22894
Sensor 619	vinculado con	Centroide	22819
Sensor 551	vinculado con	Centroide	22910
Sensor 1037	vinculado con	Centroide	22868
Sensor 1023	vinculado con	Centroide	22894
Sensor 1840	vinculado con	Centroide	22884
Sensor 1474	vinculado con	Centroide	22876
Sensor 23037	vinculado con	Centroide	22829
Sensor 388	vinculado con	Centroide	22894
Sensor 1817	vinculado con	Centroide	22858
Sensor 1842	vinculado con	Centroide	22884
Sensor 375	vinculado con	Centroide	22832
Sensor 872	vinculado con	Centroide	22868
Sensor 19983	vinculado con	Centroide	22880
Sensor 634	vinculado con	Centroide	22905
Sensor 19363	vinculado con	Centroide	22870
Sensor 1180	vinculado con	Centroide	22814
Sensor 1703	vinculado con	Centroide	22876
Sensor 1259	vinculado con	Centroide	22887
Sensor 901	vinculado con	Centroide	22858
Sensor 1472	vinculado con	Centroide	22853
Sensor 923	vinculado con	Centroide	22826
Sensor 5339	vinculado con	Centroide	22814
Sensor 19330	vinculado con	Centroide	22870

Sensor 506	vinculado con	Centroide	22802
Sensor 5530	vinculado con	Centroide	22897
Sensor 985	vinculado con	Centroide	22853
Sensor 1034	vinculado con	Centroide	22856
Sensor 669	vinculado con	Centroide	22805
Sensor 5888	vinculado con	Centroide	22887
Sensor 525	vinculado con	Centroide	22799
Sensor 456	vinculado con	Centroide	22896
Sensor 889	vinculado con	Centroide	22900
Sensor 919	vinculado con	Centroide	22899
Sensor 805	vinculado con	Centroide	22887
Sensor 436	vinculado con	Centroide	22894
Sensor 1149	vinculado con	Centroide	22833
Sensor 1611	vinculado con	Centroide	22876
Sensor 336	vinculado con	Centroide	22905
Sensor 630	vinculado con	Centroide	22894
Sensor 865	vinculado con	Centroide	22894
Sensor 18231	vinculado con	Centroide	22893
Sensor 690	vinculado con	Centroide	22905
Sensor 657	vinculado con	Centroide	22877
Sensor 1325	vinculado con	Centroide	22897
Sensor 425	vinculado con	Centroide	22894
Sensor 1081	vinculado con	Centroide	22905
Sensor 660	vinculado con	Centroide	22880
Sensor 454	vinculado con	Centroide	22833
Sensor 719	vinculado con	Centroide	22799
Sensor 680	vinculado con	Centroide	22843
Sensor 1109	vinculado con	Centroide	22897
Sensor 1118	vinculado con	Centroide	22894
Sensor 950	vinculado con	Centroide	22894
Sensor 557	vinculado con	Centroide	22894
Sensor 1155	vinculado con	Centroide	22826
Sensor 5440	vinculado con	Centroide	22860
Sensor 1584	vinculado con	Centroide	22809
Sensor 338	vinculado con	Centroide	22868
Sensor 1708	vinculado con	Centroide	22824
Sensor 1082	vinculado con	Centroide	22894
Sensor 1285	vinculado con	Centroide	22864
Sensor 4964	vinculado con	Centroide	22824
Sensor 545	vinculado con	Centroide	22824
Sensor 782	vinculado con	Centroide	22856

Sensor 754	vinculado con	Centroide	22897
Sensor 1460	vinculado con	Centroide	22889
Sensor 1293	vinculado con	Centroide	22863
Sensor 1538	vinculado con	Centroide	22902
Sensor 5378	vinculado con	Centroide	22870
Sensor 753	vinculado con	Centroide	22887
Sensor 912	vinculado con	Centroide	22843
Sensor 631	vinculado con	Centroide	22858
Sensor 1383	vinculado con	Centroide	22805
Sensor 1328	vinculado con	Centroide	22859
Sensor 1545	vinculado con	Centroide	22806
Sensor 606	vinculado con	Centroide	22856
Sensor 819	vinculado con	Centroide	22822
Sensor 1780	vinculado con	Centroide	22898
Sensor 612	vinculado con	Centroide	22826
Sensor 1288	vinculado con	Centroide	22864
Sensor 903	vinculado con	Centroide	22860
Sensor 1397	vinculado con	Centroide	22843
Sensor 882	vinculado con	Centroide	22814
Sensor 956	vinculado con	Centroide	22899
Sensor 1029	vinculado con	Centroide	22875
Sensor 656	vinculado con	Centroide	22822
Sensor 1111	vinculado con	Centroide	22856
Sensor 1634	vinculado con	Centroide	22806
Sensor 795	vinculado con	Centroide	22870
Sensor 644	vinculado con	Centroide	22859
Sensor 23160	vinculado con	Centroide	22809
Sensor 1105	vinculado con	Centroide	22822
Sensor 1751	vinculado con	Centroide	22844
Sensor 832	vinculado con	Centroide	22875
Sensor 851	vinculado con	Centroide	22809
Sensor 954	vinculado con	Centroide	22826
Sensor 17818	vinculado con	Centroide	22879
Sensor 1737	vinculado con	Centroide	22879
Sensor 582	vinculado con	Centroide	22814
Sensor 1581	vinculado con	Centroide	22843
Sensor 1777	vinculado con	Centroide	22876
Sensor 718	vinculado con	Centroide	22877
Sensor 776	vinculado con	Centroide	22826
Sensor 1681	vinculado con	Centroide	22821
Sensor 23074	vinculado con	Centroide	22806

Sensor 474	vinculado con	Centroide	22857
Sensor 1055	vinculado con	Centroide	22799
Sensor 1585	vinculado con	Centroide	22809
Sensor 398	vinculado con	Centroide	22809
Sensor 1724	vinculado con	Centroide	22855
Sensor 751	vinculado con	Centroide	22853
Sensor 1371	vinculado con	Centroide	22809
Sensor 1358	vinculado con	Centroide	22891
Sensor 939	vinculado con	Centroide	22822
Sensor 1755	vinculado con	Centroide	22877
Sensor 1126	vinculado con	Centroide	22903
Sensor 4825	vinculado con	Centroide	22817
Sensor 391	vinculado con	Centroide	22907
Sensor 1277	vinculado con	Centroide	22806
Sensor 19441	vinculado con	Centroide	22894
Sensor 379	vinculado con	Centroide	22802
Sensor 503	vinculado con	Centroide	22907
Sensor 821	vinculado con	Centroide	22889
Sensor 826	vinculado con	Centroide	22868
Sensor 1175	vinculado con	Centroide	22799
Sensor 1178	vinculado con	Centroide	22844
Sensor 562	vinculado con	Centroide	22800
Sensor 491	vinculado con	Centroide	22800
Sensor 796	vinculado con	Centroide	22903
Sensor 1177	vinculado con	Centroide	22844
Sensor 934	vinculado con	Centroide	22802
Sensor 812	vinculado con	Centroide	22895
Sensor 1248	vinculado con	Centroide	22893
Sensor 948	vinculado con	Centroide	22843
Sensor 1726	vinculado con	Centroide	22889
Sensor 809	vinculado con	Centroide	22883
Sensor 504	vinculado con	Centroide	22799
Sensor 1362	vinculado con	Centroide	22825
Sensor 1738	vinculado con	Centroide	22888
Sensor 911	vinculado con	Centroide	22902
Sensor 1266	vinculado con	Centroide	22889
Sensor 1564	vinculado con	Centroide	22820
Sensor 1339	vinculado con	Centroide	22903
Sensor 1741	vinculado con	Centroide	22888
Sensor 539	vinculado con	Centroide	22846
Sensor 1458	vinculado con	Centroide	22886

Sensor 1470	vinculado con	Centroide	22909
Sensor 1159	vinculado con	Centroide	22897
Sensor 869	vinculado con	Centroide	22899
Sensor 1544	vinculado con	Centroide	22864
Sensor 5064	vinculado con	Centroide	22908
Sensor 1147	vinculado con	Centroide	22800
Sensor 697	vinculado con	Centroide	22870
Sensor 347	vinculado con	Centroide	22831
Sensor 1251	vinculado con	Centroide	22897
Sensor 643	vinculado con	Centroide	22806
Sensor 632	vinculado con	Centroide	22800
Sensor 1338	vinculado con	Centroide	22853
Sensor 663	vinculado con	Centroide	22833
Sensor 498	vinculado con	Centroide	22831
Sensor 1262	vinculado con	Centroide	22824
Sensor 1833	vinculado con	Centroide	22884
Sensor 1540	vinculado con	Centroide	22863
Sensor 767	vinculado con	Centroide	22821
Sensor 579	vinculado con	Centroide	22889
Sensor 1587	vinculado con	Centroide	22808
Sensor 637	vinculado con	Centroide	22899
Sensor 23061	vinculado con	Centroide	22838
Sensor 1790	vinculado con	Centroide	22898
Sensor 1642	vinculado con	Centroide	22871
Sensor 392	vinculado con	Centroide	22887
Sensor 717	vinculado con	Centroide	22799
Sensor 23060	vinculado con	Centroide	22838
Sensor 4991	vinculado con	Centroide	22826
Sensor 496	vinculado con	Centroide	22799
Sensor 23144	vinculado con	Centroide	22799
Sensor 1209	vinculado con	Centroide	22799
Sensor 1028	vinculado con	Centroide	22824
Sensor 1731	vinculado con	Centroide	22889
Sensor 1019	vinculado con	Centroide	22833
Sensor 1027	vinculado con	Centroide	22875
Sensor 382	vinculado con	Centroide	22889
Sensor 1124	vinculado con	Centroide	22875
Sensor 23228	vinculado con	Centroide	22874
Sensor 428	vinculado con	Centroide	22889
Sensor 402	vinculado con	Centroide	22799
Sensor 1048	vinculado con	Centroide	22859

Sensor 885	vinculado con	Centroide	22864
Sensor 593	vinculado con	Centroide	22841
Sensor 20420	vinculado con	Centroide	22874
Sensor 702	vinculado con	Centroide	22877
Sensor 1376	vinculado con	Centroide	22871
Sensor 687	vinculado con	Centroide	22899
Sensor 1295	vinculado con	Centroide	22809
Sensor 530	vinculado con	Centroide	22868
Sensor 537	vinculado con	Centroide	22809
Sensor 1240	vinculado con	Centroide	22864
Sensor 1418	vinculado con	Centroide	22849
Sensor 1694	vinculado con	Centroide	22902
Sensor 1478	vinculado con	Centroide	22857
Sensor 1158	vinculado con	Centroide	22857
Sensor 1163	vinculado con	Centroide	22824
Sensor 5133	vinculado con	Centroide	22856
Sensor 674	vinculado con	Centroide	22859
Sensor 609	vinculado con	Centroide	22902
Sensor 1712	vinculado con	Centroide	22871
Sensor 418	vinculado con	Centroide	22834
Sensor 714	vinculado con	Centroide	22824
Sensor 940	vinculado con	Centroide	22877
Sensor 20275	vinculado con	Centroide	22891
Sensor 693	vinculado con	Centroide	22824
Sensor 1566	vinculado con	Centroide	22840
Sensor 5244	vinculado con	Centroide	22805
Sensor 866	vinculado con	Centroide	22877
Sensor 5520	vinculado con	Centroide	22812
Sensor 468	vinculado con	Centroide	22846
Sensor 384	vinculado con	Centroide	22880
Sensor 494	vinculado con	Centroide	22877
Sensor 1796	vinculado con	Centroide	22843
Sensor 1772	vinculado con	Centroide	22901
Sensor 5867	vinculado con	Centroide	22901
Sensor 5877	vinculado con	Centroide	22901
Sensor 1401	vinculado con	Centroide	22843
Sensor 5880	vinculado con	Centroide	22901
Sensor 5222	vinculado con	Centroide	22816
Sensor 1241	vinculado con	Centroide	22863
Sensor 908	vinculado con	Centroide	22899
Sensor 1220	vinculado con	Centroide	22852

Sensor 1221	vinculado con	Centroide	22852
Sensor 1416	vinculado con	Centroide	22843
Sensor 1426	vinculado con	Centroide	22883
Sensor 1227	vinculado con	Centroide	22872
Sensor 1816	vinculado con	Centroide	22858
Sensor 1226	vinculado con	Centroide	22872
Sensor 572	vinculado con	Centroide	22868
Sensor 1374	vinculado con	Centroide	22871
Sensor 466	vinculado con	Centroide	22802
Sensor 352	vinculado con	Centroide	22841
Sensor 1749	vinculado con	Centroide	22877
Sensor 1797	vinculado con	Centroide	22888
Sensor 928	vinculado con	Centroide	22806
Sensor 875	vinculado con	Centroide	22860
Sensor 1042	vinculado con	Centroide	22856
Sensor 24678	vinculado con	Centroide	22891
Sensor 5809	vinculado con	Centroide	22888
Sensor 1168	vinculado con	Centroide	22899
Sensor 1547	vinculado con	Centroide	22871
Sensor 876	vinculado con	Centroide	22824
Sensor 20423	vinculado con	Centroide	22874
Sensor 596	vinculado con	Centroide	22841
Sensor 19324	vinculado con	Centroide	22899
Sensor 1589	vinculado con	Centroide	22876
Sensor 5640	vinculado con	Centroide	22803
Sensor 333	vinculado con	Centroide	22900
Sensor 357	vinculado con	Centroide	22817
Sensor 1771	vinculado con	Centroide	22885
Sensor 1732	vinculado con	Centroide	22900
Sensor 823	vinculado con	Centroide	22831
Sensor 803	vinculado con	Centroide	22868
Sensor 728	vinculado con	Centroide	22855
Sensor 4828	vinculado con	Centroide	22817
Sensor 5157	vinculado con	Centroide	22806
Sensor 963	vinculado con	Centroide	22860
Sensor 1336	vinculado con	Centroide	22821
Sensor 737	vinculado con	Centroide	22806
Sensor 458	vinculado con	Centroide	22855
Sensor 863	vinculado con	Centroide	22843
Sensor 951	vinculado con	Centroide	22855
Sensor 786	vinculado con	Centroide	22822

Sensor 24756	vinculado con	Centroide	22892
Sensor 563	vinculado con	Centroide	22855
Sensor 1613	vinculado con	Centroide	22876
Sensor 23472	vinculado con	Centroide	22872
Sensor 1615	vinculado con	Centroide	22876
Sensor 1190	vinculado con	Centroide	22897
Sensor 967	vinculado con	Centroide	22805
Sensor 416	vinculado con	Centroide	22823
Sensor 364	vinculado con	Centroide	22823
Sensor 1102	vinculado con	Centroide	22872
Sensor 1413	vinculado con	Centroide	22822
Sensor 638	vinculado con	Centroide	22910
Sensor 591	vinculado con	Centroide	22802
Sensor 1292	vinculado con	Centroide	22856
Sensor 1473	vinculado con	Centroide	22857
Sensor 857	vinculado con	Centroide	22885
Sensor 1529	vinculado con	Centroide	22891
Sensor 1730	vinculado con	Centroide	22889
Sensor 608	vinculado con	Centroide	22887
Sensor 5677	vinculado con	Centroide	22858
Sensor 1289	vinculado con	Centroide	22856
Sensor 556	vinculado con	Centroide	22806
Sensor 1049	vinculado con	Centroide	22832
Sensor 1258	vinculado con	Centroide	22887
Sensor 23351	vinculado con	Centroide	22898
Sensor 969	vinculado con	Centroide	22824
Sensor 1329	vinculado con	Centroide	22845
Sensor 1844	vinculado con	Centroide	22825
Sensor 685	vinculado con	Centroide	22826
Sensor 701	vinculado con	Centroide	22813
Sensor 1323	vinculado con	Centroide	22897
Sensor 1377	vinculado con	Centroide	22837
Sensor 501	vinculado con	Centroide	22826
Sensor 17753	vinculado con	Centroide	22879
Sensor 5915	vinculado con	Centroide	22879
Sensor 532	vinculado con	Centroide	22845
Sensor 5111	vinculado con	Centroide	22875
Sensor 19909	vinculado con	Centroide	22875
Sensor 1281	vinculado con	Centroide	22826
Sensor 1841	vinculado con	Centroide	22807
Sensor 1356	vinculado con	Centroide	22809

Sensor 22662	vinculado con	Centroide	22832
Sensor 1734	vinculado con	Centroide	22855
Sensor 867	vinculado con	Centroide	22799
Sensor 1141	vinculado con	Centroide	22842
Sensor 5891	vinculado con	Centroide	22887
Sensor 1311	vinculado con	Centroide	22897
Sensor 713	vinculado con	Centroide	22803
Sensor 1373	vinculado con	Centroide	22837
Sensor 752	vinculado con	Centroide	22809
Sensor 1355	vinculado con	Centroide	22809
Sensor 1779	vinculado con	Centroide	22898
Sensor 23030	vinculado con	Centroide	22804
Sensor 881	vinculado con	Centroide	22889
Sensor 854	vinculado con	Centroide	22889
Sensor 1287	vinculado con	Centroide	22864
Sensor 1040	vinculado con	Centroide	22802
Sensor 23029	vinculado con	Centroide	22804
Sensor 932	vinculado con	Centroide	22814
Sensor 721	vinculado con	Centroide	22800
Sensor 521	vinculado con	Centroide	22910
Sensor 401	vinculado con	Centroide	22802
Sensor 24713	vinculado con	Centroide	22870
Sensor 1391	vinculado con	Centroide	22874
Sensor 473	vinculado con	Centroide	22902
Sensor 19912	vinculado con	Centroide	22908
Sensor 5252	vinculado con	Centroide	22816
Sensor 1202	vinculado con	Centroide	22908
Sensor 1380	vinculado con	Centroide	22805
Sensor 1370	vinculado con	Centroide	22808
Sensor 672	vinculado con	Centroide	22869
Sensor 24761	vinculado con	Centroide	22876
Sensor 1331	vinculado con	Centroide	22844
Sensor 520	vinculado con	Centroide	22814
Sensor 849	vinculado con	Centroide	22905
Sensor 22912	vinculado con	Centroide	22867
Sensor 22656	vinculado con	Centroide	22876
Sensor 1531	vinculado con	Centroide	22874
Sensor 931	vinculado con	Centroide	22806
Sensor 18516	vinculado con	Centroide	22885
Sensor 362	vinculado con	Centroide	22864
Sensor 648	vinculado con	Centroide	22856

Sensor 684	vinculado con	Centroide	22859
Sensor 822	vinculado con	Centroide	22802
Sensor 20278	vinculado con	Centroide	22891
Sensor 695	vinculado con	Centroide	22868
Sensor 1743	vinculado con	Centroide	22888
Sensor 968	vinculado con	Centroide	22856
Sensor 24770	vinculado con	Centroide	22888
Sensor 4978	vinculado con	Centroide	22834
Sensor 541	vinculado con	Centroide	22821
Sensor 1246	vinculado con	Centroide	22893
Sensor 1100	vinculado con	Centroide	22799
Sensor 741	vinculado con	Centroide	22799
Sensor 22663	vinculado con	Centroide	22811
Sensor 860	vinculado con	Centroide	22819
Sensor 1072	vinculado con	Centroide	22900
Sensor 434	vinculado con	Centroide	22885
Sensor 1145	vinculado con	Centroide	22902
Sensor 1490	vinculado con	Centroide	22892
Sensor 1127	vinculado con	Centroide	22837
Sensor 349	vinculado con	Centroide	22806
Sensor 1754	vinculado con	Centroide	22844
Sensor 447	vinculado con	Centroide	22819
Sensor 984	vinculado con	Centroide	22907
Sensor 24695	vinculado con	Centroide	22820
Sensor 1781	vinculado con	Centroide	22897
Sensor 22911	vinculado con	Centroide	22867
Sensor 332	vinculado con	Centroide	22845
Sensor 981	vinculado con	Centroide	22806
Sensor 524	vinculado con	Centroide	22903
Sensor 884	vinculado con	Centroide	22831
Sensor 24701	vinculado con	Centroide	22902
Sensor 573	vinculado con	Centroide	22809
Sensor 408	vinculado con	Centroide	22799
Sensor 470	vinculado con	Centroide	22799
Sensor 825	vinculado con	Centroide	22889
Sensor 1665	vinculado con	Centroide	22860
Sensor 587	vinculado con	Centroide	22891
Sensor 1588	vinculado con	Centroide	22878
Sensor 1030	vinculado con	Centroide	22805
Sensor 455	vinculado con	Centroide	22905
Sensor 5216	vinculado con	Centroide	22871

Sensor 1748	vinculado con	Centroide	22844
Sensor 711	vinculado con	Centroide	22905
Sensor 22920	vinculado con	Centroide	22867
Sensor 22921	vinculado con	Centroide	22867
Sensor 708	vinculado con	Centroide	22841
Sensor 1664	vinculado con	Centroide	22860
Sensor 1808	vinculado con	Centroide	22899
Sensor 1441	vinculado con	Centroide	22805
Sensor 1294	vinculado con	Centroide	22802
Sensor 334	vinculado con	Centroide	22802
Sensor 1346	vinculado con	Centroide	22883
Sensor 1733	vinculado con	Centroide	22900
Sensor 1591	vinculado con	Centroide	22878
Sensor 827	vinculado con	Centroide	22803
Sensor 23263	vinculado con	Centroide	22886
Sensor 403	vinculado con	Centroide	22907
Sensor 1690	vinculado con	Centroide	22897
Sensor 1189	vinculado con	Centroide	22893
Sensor 24698	vinculado con	Centroide	22806
Sensor 620	vinculado con	Centroide	22884
Sensor 1003	vinculado con	Centroide	22811
Sensor 1046	vinculado con	Centroide	22806
Sensor 437	vinculado con	Centroide	22903
Sensor 892	vinculado con	Centroide	22859
Sensor 22654	vinculado con	Centroide	22886
Sensor 659	vinculado con	Centroide	22811
Sensor 1396	vinculado con	Centroide	22857
Sensor 824	vinculado con	Centroide	22826
Sensor 1327	vinculado con	Centroide	22859
Sensor 351	vinculado con	Centroide	22826
Sensor 1768	vinculado con	Centroide	22879
Sensor 1766	vinculado con	Centroide	22879
Sensor 1446	vinculado con	Centroide	22843
Sensor 1314	vinculado con	Centroide	22843
Sensor 1442	vinculado con	Centroide	22837
Sensor 933	vinculado con	Centroide	22903
Sensor 1395	vinculado con	Centroide	22845
Sensor 1085	vinculado con	Centroide	22843
Sensor 1058	vinculado con	Centroide	22831
Sensor 1423	vinculado con	Centroide	22843

7.7 Datos de viajes generados y atraídos de la matriz O-D original y estimada

Centroide	Matriz O-D original		Matriz O-D estimada	
	Viajes generados	Viajes atraídos	Viajes generados	Viajes atraídos
22799	30	45	186	0
22800	66	0	48	1
22801	0	222	0	0
22802	69	5	85	38
22803	103	0	0	72
22804	51	0	3	2
22805	0	0	41	2
22806	0	0	31	9
22807	26	2	0	0
22808	0	0	30	32
22809	0	58	10	3
22810	0	241	0	0
22811	0	75	35	31
22812	0	0	0	0
22813	0	101	0	0
22814	209	0	221	42
22815	0	37	0	0
22816	9	0	0	67
22817	0	240	8	0
22818	0	85	0	0
22819	3	0	32	0
22820	342	0	1	0
22821	5	45	17	27
22822	144	0	12	183
22823	145	0	0	0
22824	0	27	7	5
22825	0	0	25	0
22826	634	0	14	51
22827	233	0	0	0
22828	141	0	0	0
22829	0	0	0	50
22830	0	316	39	0
22831	404	0	2	93
22832	223	0	2	0
22833	0	62	40	3
22834	0	0	0	176

Centroides	Matriz O-D original		Matriz O-D estimada	
	Viajes generados	Viajes atraídos	Viajes generados	Viajes atraídos
22835	0	17	0	0
22836	0	52	0	0
22837	0	0	4	0
22838	11	0	0	156
22839	0	14	0	0
22840	0	224	10	5
22841	236	0	27	0
22842	0	58	0	23
22843	0	0	49	0
22844	0	108	44	2
22845	160	0	14	15
22846	0	40	5	1
22847	9	0	0	0
22848	0	41	0	0
22849	21	0	0	0
22850	271	0	0	11
22851	44	0	0	110
22852	0	0	62	0
22853	33	0	98	79
22854	0	0	0	0
22855	0	1	133	0
22856	26	0	41	2
22857	25	0	30	16
22858	0	95	48	17
22859	0	26	40	0
22860	12	18	16	3
22861	0	0	0	0
22862	0	154	0	0
22863	0	0	0	0
22864	0	0	1	0
22865	0	282	0	0
22866	38	0	0	0
22867	332	0	8	247
22868	148	0	14	44
22869	0	0	71	17
22870	0	132	79	103
22871	0	108	22	4
22872	63	0	15	0

Centroide	Matriz O-D original		Matriz O-D estimada	
	Viajes generados	Viajes atraídos	Viajes generados	Viajes atraídos
22873	0	71	0	0
22874	0	2	9	7
22875	0	45	14	18
22876	22	113	30	18
22877	0	50	61	0
22878	183	4	8	8
22879	0	58	34	28
22880	16	8	123	0
22881	0	190	0	0
22882	57	15	3	6
22883	0	87	151	3
22884	108	0	17	2
22885	27	60	20	87
22886	0	246	8	7
22887	0	40	41	19
22888	0	2	23	24
22889	64	173	42	85
22890	0	11	0	0
22891	0	5	22	1
22892	104	17	48	0
22893	3	16	17	0
22894	0	34	219	132
22895	15	188	18	30
22896	0	0	29	0
22897	48	198	66	170
22898	0	4	13	0
22899	0	207	89	140
22900	59	0	1	0
22901	0	28	4	30
22902	106	153	56	112
22903	0	32	10	151
22904	0	27	0	0
22905	0	0	42	0
22907	0	0	2	0
22908	73	77	50	67
22909	0	71	22	57
22910	12	1	13	81

7.8 Coordenadas e ID's de los sensores optimizados

ID del sensor	Coordenada X	Coordenada Y
19269	353396.0114	2276559.6510
1098	354236.7597	2276419.9740
1578	355274.9959	2276876.0310
734	355535.4346	2277126.2200
1827	352497.7553	2278194.7270
1711	352781.7673	2276931.4530
1435	352351.5648	2279008.0550
625	354839.0462	2276794.3310
562	353104.7203	2276758.3800
504	352391.4177	2278618.9900
891	355872.6453	2275959.2720
1223	355669.8298	2276746.4580
561	354999.2547	2280300.3330
1332	353114.9193	2280658.9880
1120	351846.2965	2280702.0990
474	353790.0750	2280425.5920
1340	357205.4787	2277850.4630
843	355115.7357	2277351.1910
673	356168.1794	2278560.8610
1817	356494.3057	2277544.8200
1035	355851.9491	2279796.5060
1735	352816.4258	2279040.5270
1051	352021.7108	2279908.2230
901	356128.1027	2277556.0250
1470	354925.2266	2278890.1100
1755	353071.6624	2280255.4960
367	351964.7813	2280242.4400
1138	355476.4732	2279658.7710
689	356365.5105	2279254.4370
1033	354847.6541	2278338.6700
1186	357599.6288	2277422.7290
331	357715.5222	2276386.4090
23460	354487.2743	2276900.6200
766	352557.0181	2277828.1700
1541	358209.1576	2276522.7120
1698	357974.9388	2276853.0850
994	356769.7345	2276075.4110

ID del sensor	Coordenada X	Coordenada Y
1743	353420.1952	2279422.5060
495	356232.9689	2279665.3070
1328	354108.0882	2280384.9260
373	354920.5209	2277847.8260
1777	354560.3449	2279961.6850
1794	354881.9355	2279977.4000
834	354620.4246	2280319.0650
1474	353882.1078	2280024.1150
18231	355438.2934	2279233.8820
579	352682.4440	2277494.7080
1014	357371.0268	2277164.3470
1846	355469.7742	2275977.4670
1175	352146.0302	2279426.3140
5549	355445.9211	2280010.2510
1567	358100.6985	2276069.5480
1061	353985.7594	2278075.1530
1376	357382.1174	2276434.6340
1840	354919.7717	2275854.2200
1266	353402.0260	2277926.2870
23099	354536.1135	2275715.7090
638	355612.7118	2278585.4550
977	352600.8215	2280789.2740
1707	351625.6380	2281406.9460
5064	356376.6169	2276980.8070
505	354307.5843	2278284.8440
1409	356751.1048	2276641.5530
1143	353779.0855	2275819.7800
875	356553.3722	2278811.4220
22912	351454.1101	2281782.7510
1449	354394.2932	2277257.5120
1207	356277.4700	2276084.8490
675	354783.7817	2277153.4650
1599	354165.7507	2278975.7630
23031	357182.0289	2276093.0550
802	351601.5565	2281009.1710
919	353783.7028	2276789.1470
1463	353610.8253	2277408.1410
18512	354109.8403	2278609.9070

ID del sensor	Coordenada X	Coordenada Y
1110	355264.8658	2278357.1350
751	356872.1749	2278195.4710
431	358027.8012	2277260.5170
1797	353319.1310	2279034.8840
1806	353684.1656	2278925.6240
1485	355817.9874	2279464.1480
20278	355408.4969	2276534.0440
1768	353161.0642	2279797.9220
1027	356800.7054	2277060.1900
885	358705.2026	2276722.7660
822	352042.0607	2280925.9040

Dirección General de Bibliotecas UAQ