

Proyecto Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías
Industriales

Simulación y análisis del transporte privado
en la ciudad de Sevilla

Autor: José Antonio Vera Domínguez

Tutor: Jesús Muñuzuri Sanz

Departamento de Organización Industrial
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2015



Proyecto Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Simulación y análisis del transporte privado en la ciudad de Sevilla

Autor:

José Antonio Vera Domínguez

Tutor:

Jesús Muñuzuri Sanz

Departamento de Organización Industrial

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2015

Agradecimientos

A mis profesores y en especial a mi tutor del proyecto, Jesús Muñuzuri por su dedicación, atención y predisposición que ha tenido en todo momento.

A mis padres, por el apoyo, cariño y comprensión.

A mi hermana Cristina y a José Luis, por animarme a ir superando los obstáculos.

Gracias a todos.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL PROYECTO	Pág. 8
1.1. El transporte	Pág. 8
1.1.1. Componentes del sistema de transporte	Pág. 8
1.1.2. Clasificación del transporte	Pág. 9
1.1.3. El transporte urbano en Sevilla	Pág. 10
1.1.4. Impacto del transporte en el medio ambiente y sociedad	Pág. 12
1.2. Objeto y descripción del proyecto	Pág. 12
2. MODELADO DEL TRÁFICO CON EL SIMULADOR EMME	Pág. 14
2.1. Modelado de la red de tráfico	Pág. 14
2.2. Descripción del simulador <i>Emme</i>	Pág. 15
2.2.1. El programa	Pág. 15
2.2.2. Vista del escritorio <i>Emme</i>	Pág. 16
2.2.3. Exploradores	Pág. 16
2.2.4. Worksheet Layer Control	Pág. 18
2.2.5. Map Navigation	Pág. 19
2.2.6. Network Editor y Network Calculator	Pág.19
2.2.7. Emme Prompt	Pág.20
2.3. Creación del actual proyecto e inicio del programa	Pág.20
3. ACTUALIZACIÓN Y ADAPTACIÓN DE LA RED	Pág.24
3.1. Proceso de edición y modificación de la red en <i>Emme3</i>	Pág.25
3.1.1. Modificación en zona 1	Pág.32
3.1.2. Modificación en zona 2	Pág.35
3.1.3. Modificación en zona 3	Pág.37
3.1.4. Modificación en zona 4	Pág.38
3.1.5. Modificación en zona 5	Pág.40
3.1.6. Modificación en zona 6	Pág.41
3.1.7. Modificación en zona 7	Pág.42
3.1.8. Modificación en zona 8	Pág.43
3.1.9. Modificación en zona 9	Pág.47
4. SIMULACIONES REALIZADAS	Pág.50
5. RESULTADOS	Pág.59
5.1. Resultados en zona 1	Pág.61
5.2. Resultados en zona 2	Pág.61
5.3. Resultados en zona 3	Pág.62
5.4. Resultados en zona 4	Pág.62
5.5. Resultados en zona 5	Pág.62
5.6. Resultados en zona 6	Pág.62
5.7. Resultados en zona 7 y 8	Pág.63
5.8. Resultados en zona 9	Pág.63

6. CONCLUSIONES Y LÍNEA FUTURA	Pág.64
6.1. Cálculo de errores	Pág.64
6.2. Línea futura	Pág.65
7. BIBLIOGRAFÍA	Pág.66

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL PROYECTO

1.1. *El Transporte*

El transporte consiste en una actividad del sector terciario, que se entiende como el desplazamiento de personas y objetos desde un punto llamado origen a otro llamado destino.

Para ello es necesario la existencia de una infraestructura o red de transporte.

Esta actividad ha experimentado una gran expansión en los últimos siglos, motivada principalmente por la industrialización, el aumento del comercio y el incremento de desplazamientos a todos los niveles. Dicha evolución ha causado un gran avance en capacidad, seguridad y costes en los transportes.

1.1.1. *Componentes del sistema de transporte*

Para que el transporte sea posible intervienen distintos elementos que interactúan entre sí. Estos elementos son los siguientes:

-La infraestructura. Se incluyen en ella los elementos físicos que hacen posible el transporte, por ejemplo aeropuertos, rutas marítimas, vías y carreteras.

La infraestructura se completa con otros elementos también necesarios como señalizaciones, semáforos, torres de control, radares, etc. que controlan el tráfico y lo hacen más seguro.

-Vehículo. Es el elemento en el cual se lleva a cabo el transporte de personas y objetos, por ejemplo el coche, el autobús, la bicicleta, el avión, etc.

-Operador de transporte. Es la persona responsable del uso del vehículo, manejándolo o conduciéndolo en cada caso.

-Las Normas y Leyes. Son una parte muy importante del transporte, ya que regulan la metodología de su uso y dictaminan todas las operaciones de trayectos y condiciones, tanto de demandantes como de ofertantes de servicios de transporte.

1.1.2. Clasificación del transporte

Hay distintas maneras de clasificar el transporte según el criterio que usemos, que puede ser según tipo de elemento transportado, tipo de viaje, etc.

Aquí se recogen las siguientes clasificaciones dentro del transporte:

-Transporte de personas y transporte de cargas:

El transporte de carga se refiere a la acción de llevar bienes de un lugar a otro. Asociado a él está la logística, que estudia cómo optimizar este proceso, tanto en tiempos como en costes.

El transporte de pasajeros se centra en el correcto desplazamiento de personas, de forma confortable y en un tiempo determinado.

-Transporte urbano y transporte interurbano:

Esta clasificación es muy importante por las diferencias que implican los dos tipos de viajes. Mientras los viajes urbanos son cortos y muy frecuentes los viajes interurbanos son largos y menos frecuentes.

La velocidad media es considerablemente inferior en el transporte urbano debido a las frecuentes congestiones, semáforos en este tipo de entorno y a los límites de velocidad urbanos.

-Transporte escolar:

Consiste en transporte destinado exclusivamente al desplazamiento de niños y jóvenes a su centro de estudios mediante autobuses generalmente. El uso de este tipo de transporte disminuye el transporte privado corriente que supondría el traslado de todas estas personas en vehículos particulares.

-Transporte público y transporte privado:

En el transporte público los viajeros comparten medio de transporte y está disponible para el público en general. Se utilizan diferentes tipos de vehículos, como pueden ser los autobuses, tranvías, trenes o metros y también aviones y trenes de alta velocidad dependiendo si el transporte es urbano o interurbano.

En el transporte privado, objeto de este proyecto, entran aquellos que no están abiertos a todo el público y lo conforman vehículos particulares.

Las principales diferencias con el público son:

- En el transporte privado el usuario puede elegir la ruta, mientras que en el público la ruta ya está preestablecida.
- En el transporte privado el usuario puede seleccionar la hora de partida, mientras que en transporte público el usuario debe ceñirse a unos horarios.
- La rapidez del viaje en el transporte privado depende del operador de transporte (manteniéndose siempre dentro de los límites de regularización y legales), mientras que en transporte público el tiempo de viaje está dado por las paradas, los horarios y la velocidad de operación.
- En el transporte público el usuario recibe un servicio a cambio de un pago, conocido técnicamente como tarifa, mientras que en el transporte privado el usuario opera su vehículo y se hace cargo de sus costes.

El más representativo de los modos de transporte privado es el automóvil. Sin embargo, la caminata y la bicicleta también están dentro de esta clasificación. El taxi, pese a ser un servicio de acceso abierto al público, es clasificado como transporte privado.

1.1.3. El transporte urbano en Sevilla

Sevilla es una ciudad que cuenta con diversas opciones de transporte. Principalmente en Sevilla el transporte más utilizado es el vehículo privado, pero existen otras opciones muy utilizadas en el transporte público, que cuenta con una amplia red de líneas de autobuses (Tussam), tranvía (para la zona de centro), y el metro. Un medio de transporte emergente y cada vez más utilizado es la bicicleta, motivado por la buena infraestructura realizada en la ciudad (carriles bicis) y la facilidad aportada con el sistema de alquiler de bicicletas Sevici. Es por ello que muchos adoptan este medio de transporte en lugar del vehículo tradicional.

A lo largo del día se producen una gran cantidad de desplazamientos en esta ciudad; el flujo de vehículos particulares y de transporte público es constante debido a la gran actividad y densidad de población que hay. En muchas ocasiones, especialmente en las horas punta del día, acarrear problemas de saturación del tráfico, aumentando considerablemente el tiempo de desplazamiento de las personas.

En los últimos años se ha incrementado el número de vehículos particulares y sus desplazamientos, siendo un reto el diseño del viario de la ciudad de forma que satisfaga en la mayor medida posible un transporte decente de las personas.

La manera en la que esté diseñado este viario, formado por calles, avenidas, intersecciones, rotondas, etc. afectará en gran medida a la efectividad de los transportes. Estos elementos están en continuo cambio motivado por obras y planes de mejora de la ciudad.

Como ejemplo curioso se muestra la evolución de la Avenida de la Constitución, una de las avenidas más importantes de Sevilla por estar en el centro y situada junto a edificios emblemáticos como la Catedral.

Con el paso del tiempo ha tenido distintas configuraciones de circulación, según se muestra en las siguientes figuras.

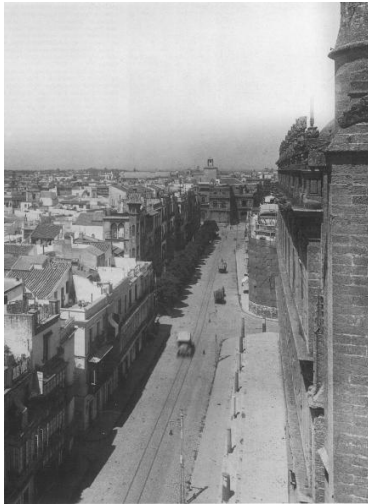


Figura1. Foto antigua Av. De la Constitución



Figura2. Av. De la Constitución hace unos años



Figura3. Av. de la Constitución actualmente

Como se puede apreciar ha ido evolucionando, y su último cambio significativo ha sido el paso de tener carriles aptos para circulación de vehículos, a ser una zona peatonal y transitada por el tranvía.

Pese al fuerte incremento experimentado en los últimos años del uso del automóvil particular (al haber más desplazamientos y coches) el fenómeno se ha visto en parte contrarrestado por el gran auge del transporte público a través de los medios tradicionales, como los autobuses Tussam, el nuevo tranvía y el metro, y sobre todo, con el incremento en transporte limpio como la bicicleta, motivado en gran parte por el bien acogido sistema de Sevici que funciona actualmente en la ciudad. Gracias a medidas como estas cada vez es más la gente que se pasa

al transporte en bicicleta, disminuyendo la congestión en tráfico de vehículos a motor y respetando el medio ambiente.

1.1.4. Impacto del transporte en el medio ambiente y sociedad

El transporte afecta en gran medida a la forma de vida de las personas. Normalmente las personas no viven en lugares cercanos a donde desarrollan su vida laboral o de estudios, por lo que el desplazamiento en vehículo es casi obligatorio en nuestra sociedad.

Concretamente en grandes núcleos urbanos, como es la ciudad de Sevilla, tal magnitud de desplazamientos concentrados en unas mismas franjas horarias (horas punta de entrada y salida de los trabajos) conllevan a problemas de congestión en algunas zonas. Este hecho provoca retrasos en los desplazamientos que no sólo afectan a un tiempo extra perdido, sino que también afectan a nuestras emociones y formas de actuar, pudiendo provocar mal comportamiento, alteraciones o incluso agresividad.

Actualmente existe también un factor muy importante a tener en cuenta que es la contaminación. Esta puede ser acústica y medioambiental.

El elevado número de vehículos circulando por las ciudades, hace que empeore la calidad del aire que se respira, debido a las emisiones de los gases emitidos por ellos, provocando también unos niveles de ruido que sobrepasan, en ocasiones, los decibelios soportados por el oído humano.

Con el transporte público, mencionado anteriormente, y la utilización de vehículos eléctricos, se está consiguiendo un tráfico más limpio, haciendo que las emisiones contaminantes de la atmósfera y la contaminación acústica no se disparen.

1.2. Objeto y descripción del proyecto

El objeto del presente proyecto es la realización de una simulación y análisis del tráfico de vehículos privados en la ciudad de Sevilla, España.

Para solventar problemas de tráfico y minimizar su congestión existen distintos programas informáticos para la simulación del mismo. De estos programas es posible extraer las mejores combinaciones en cuanto a sentido de calles, número de carriles, intersecciones, etc. Consiguiendo así que el tráfico sea lo más fluido posible.

En este proyecto se ha utilizado el programa de simulación *Emme*, concretamente su tercera versión, la cual se describirá más adelante.

Para implementar el mapa real de Sevilla, en este programa, se parte con una red ya realizada que cuenta con links (segmentos) referentes a las calles. Este mapa tiene una antigüedad de más de quince años, luego ha sido necesaria su modificación, adaptación y actualización a la situación actual de Sevilla (2015), ya que en estos años se han producido muchos cambios en

el viario principal y se han ejecutado grandes obras que conllevan modificaciones en las vías de transporte.

Tras la mencionada actualización de la red existente en *Emme* se procede a la inclusión de datos sobre desplazamientos a partir de matrices origen-destino, y a la ejecución de simulaciones de tráfico.

El objeto de estas simulaciones en este proyecto es la comparación de las intensidades de tráfico (número de vehículos privados que pasan en un determinado tiempo por distintas calles de la ciudad) con los datos facilitados por la página www.trafico.sevilla.org y realizar las valoraciones y conclusiones pertinentes.

2. MODELADO DEL TRÁFICO CON EL SIMULADOR EMME

2.1. *Modelado de la red de tráfico*

La red viaria de una ciudad cuenta con una gran variedad de elementos que facilitan el transporte con vehículos y su organización, de manera que los trayectos sean lo más eficientes posible, en cuanto a distancia y en cuanto a tiempo.

Para llevar a cabo una simulación informática como la que se pretende, todos estos elementos reguladores del tráfico se deben modelar, ya que afectan directamente a los resultados de los desplazamientos.

Entre estos elementos se encuentran las propias calles o avenidas, con sus respectivas propiedades (distancia, sentido, número de carriles, etc.), también las intersecciones, como pueden ser cruces o rotondas. Para la implementación en el programa estos elementos pasan a llamarse nodos, arcos y giros.

Nodos: Los nodos son puntos de la red y están unidos por los tramos del viario. Pueden ser ordinarios o centroides.

Los nodos ordinarios representan intersecciones, cruces y rotondas.

Los centroides son nodos imaginarios. Actúan como fuentes y sumideros de vehículos. Sus puntos inicial y final son accesos de entrada y salida a la red. Los vehículos no pueden dirigirse mediante los links que unen estos centroides, únicamente modelan el inicio y el final de los trayectos. Los inicios y finales de los trayectos vienen dados por la matriz O-D (origen/destino).

Giros: Representan a las intersecciones, es decir, al paso de un arco a otro para continuar con la siguiente calle. No tiene por qué ser un giro como tal, continuar recto hacia otra calle entra dentro de este término de giro.

Sólo tienen sentido para los nodos ordinarios, concretamente para aquellos a los que les llega un arco y sale otro.

Estos elementos son importantes ya que cada intersección, especialmente las rotondas, disponen de funciones de retraso, según lo penalizado que esté en cuanto a tiempo escoger una salida u otra.

Arcos: Los arcos (links en el programa) unen los nodos representando los tramos por donde los vehículos o las personas pueden transitar (calles y avenidas). A través de ellos circulará el flujo de tráfico y se formará la red viaria.

Existen dos tipos de arcos, los ordinarios y los conectores.

Los ordinarios representan tramos de viario, como son las calles, por donde circulan los vehículos. Cada dirección es representada por un arco, es decir, una calle con dos sentidos es

modelada con dos arcos, uno para cada uno de ellos, y no se podrán poner dos arcos que vayan desde un mismo nodo a otro nodo en el mismo sentido.

Los conectores son los links que unen los centroides (nodos “imaginarios”) con los nodos ordinarios. Representan por tanto el recorrido que hacen los vehículos antes de incorporarse a la red o una vez salen de ella (por ejemplo, buscando aparcamiento). Estos conectores no pueden usarse como líneas de tránsito, por lo que es común que se vean en el mapa del programa links que atraviesan zonas intransitables que no simbolizan calles físicas.

2.2. Descripción del simulador Emme

En este proyecto se utiliza el programa informático *Emme* en su tercera versión. *Emme* es un software de INRO sobre modelado completo de transporte urbano, regional o nacional. Tiene una amplia utilización en las ciudades más importantes de todo el mundo y su uso es extendido para complejos modelos de transporte.

2.2.1. El programa Emme

La estructura de los proyectos en *Emme 3* permite aprovechar bases de datos provenientes de la versión anterior del programa, el *Emme 2*, y añadirle más funciones y posibilidades en las propiedades. El formato de archivo propio de este software tiene como extensión “. *emp*”, por lo que para abrir un proyecto en *Emme* deberá ser un archivo tipo *emp*.

Para empezar un nuevo proyecto se accede al menú de nuevo proyecto a través de *File + New + Project*. Si se empieza de cero con el programa, existe la posibilidad de abrir un proyecto a modo de demostración, seleccionando *Create a demonstration Project*, en las opciones de nuevo proyecto.

También existe la opción de empezar un proyecto a partir de un archivo de datos de la versión *Emme 2*. Esta opción es la que interesa en este proyecto, ya que como se ha mencionado anteriormente se parte de la red antigua de la ciudad de Sevilla para actualizarla desde ese punto. Esta opción se encuentra en *File + New + Project + import an existing EMME/2 data base*.

Para abrir un proyecto anteriormente guardado se puede abrir directamente el archivo en formato *emp* o abriendo el programa y seleccionando *File + Open + Project*. Igualmente el programa muestra en estas opciones los proyectos abiertos recientemente.

2.2.2. Vista del escritorio Emme

El programa contiene múltiples herramientas. Los comandos principales en su interfaz se agrupan en los siguientes apartados:

- Dockable Explorer Windows
 - *Data Explorer*
 - *Worksheet Explorer*
 - *View Explorer*
 - *Media explorer*
- Worksheets and Layers Controls
- View Toolbar
- Editing Toolbar

2.2.3. Exploradores

Los exploradores muestran una visión completa de los elementos y datos más relevantes con los que se está trabajando. El *Data Explorer* (figura 4) muestra la base de datos de la red en sí con la que se trabaja, están organizadas por escenarios. Cada escenario puede contar con una configuración distinta sobre la misma red.

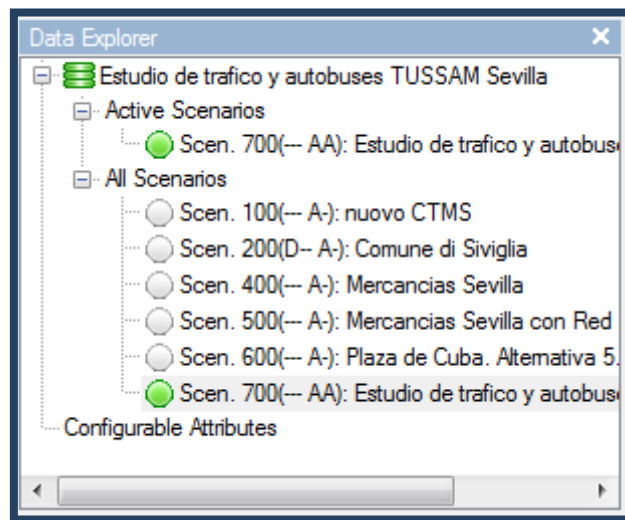


Figura 4. Data Explorer

Mediante este explorador se pueden cargar los distintos escenarios y tener acceso a sus propiedades.

Del mismo modo, desde esta ventana podemos acceder al *Network Editor* y *Network Calculator*, herramientas que se utilizan para modificar y editar los escenarios.

Desde este explorador también se pueden abrir y cerrar las distintas bases de datos que se necesiten utilizar y modificar las propiedades del proyecto. El escenario actual de trabajo se mostrará en verde, lo cual significa que es el escenario primario, sobre el que se realiza la edición.

A través del menú de *Worksheets/Table explorer* (figura 5) se puede acceder a los distintos mapas, muchos de ellos predefinidos, y se tiene acceso a los datos sobre el transporte y a resultados de los análisis efectuados.

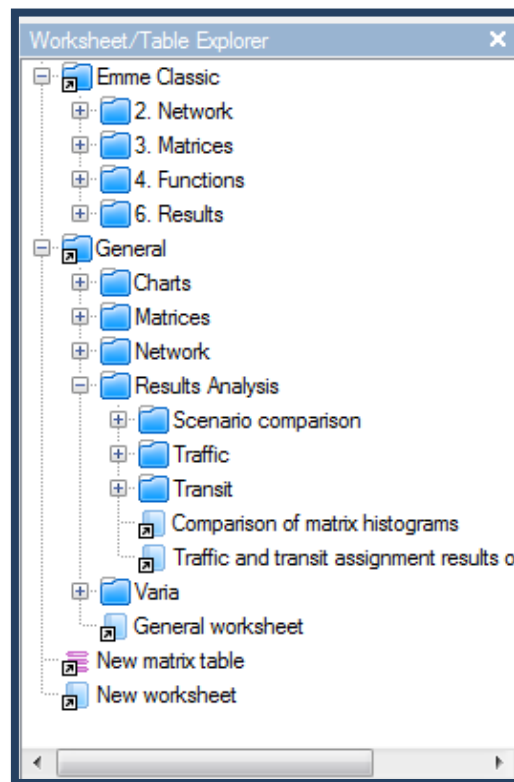


Figura 5. Worksheet/Table Explorer

Mediante el *View Explorer* (figura 6) se puede guardar y acceder a distintas vistas que sean de interés a medida que se lleva a cabo el proyecto. Todos los ítems disponibles del proyecto se recogen en el *Media Explorer*, donde están ordenados por carpetas.

Gracias a esta carpeta se puede visualizar rápidamente una parte del mapa sin necesidad de buscarlo nuevamente.

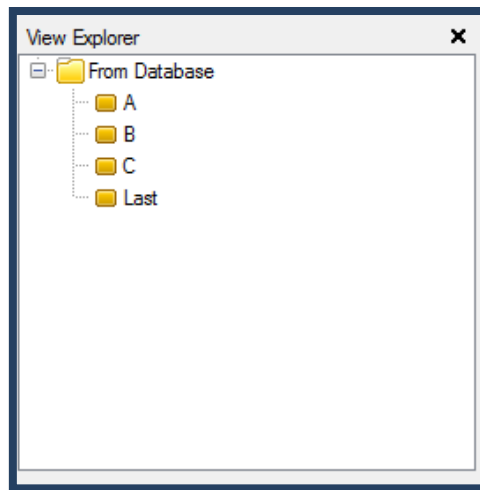


Figura 6. View Explorer

La ventana de Media Explorer (figura 7) muestra los distintos archivos media disponible en el actual proyecto, como imágenes, anotaciones...



Figura 7. Media Explorer

Todos los exploradores se pueden modificar en tamaño y situación, así como ocultarlos o dejarlos visibles según se desee. Los cambios que se hagan se mantendrán guardados para la próxima sesión automáticamente.

2.2.4. Worksheet layer control

Mediante el *layer control* (figura 8) se ajustan las propiedades de la vista general del mapa, por ejemplo, qué elementos se quieren visualizar y cuáles no. Los marcados con un *tick* se pueden ver en el mapa, mientras que si no están marcados, esa información no aparecerá. Esto permite centrarse en lo que realmente interesa.

Desde este recuadro, situado arriba a la derecha de la interfaz principal, también se puede acceder a cambiar configuraciones como pueden ser el color de fondo del mapa y similares.

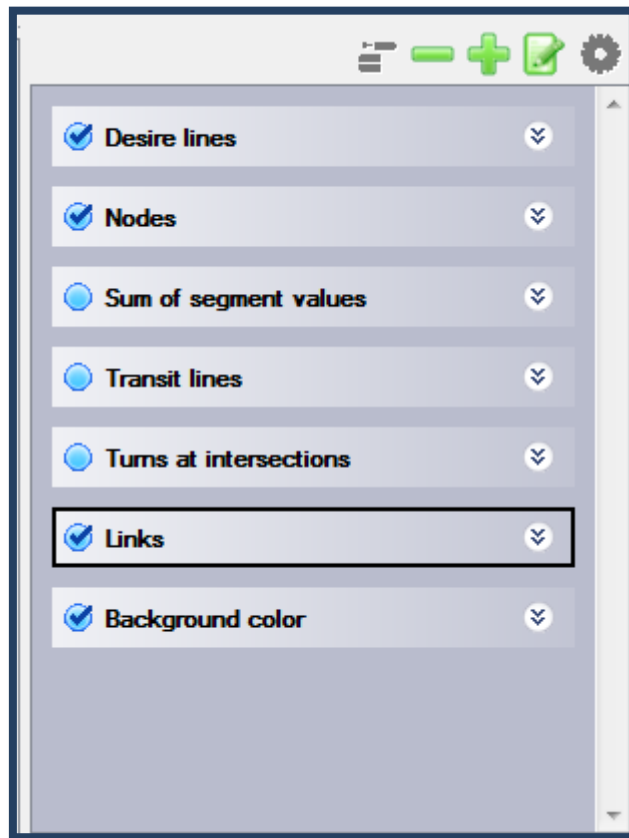


Figura 8. Layer Control

2.2.5. Map Navigation

Se puede navegar por el mapa a través de View Toolbar.

El *View Toolbar* permite navegar por el mapa (hacer zoom, desplazamientos...), acciones que también se pueden controlar con el ratón.

2.2.6. Network Editor y Network Calculator

En la barra de herramientas se encuentra el *Network Editor*, que es una de las herramientas más usadas en este proyecto, concretamente para el apartado de modificación y actualización de la red. Esta herramienta permite testear, comparar y editar los atributos de los distintos elementos de la red de transporte. Todos los cambios que se van haciendo pueden ser guardados como historial para control de la trazabilidad.

Las principales actuaciones que se pueden ejecutar con esta herramienta son:

- Añadir y eliminar elementos con la barra de herramientas.
- Copiar y pegar atributos en nodos y links.

- Incluir links, modificar itinerarios de líneas de tránsito y diversas propiedades clicando con el botón derecho sobre el mapa de red.
- Editar valores de los atributos en las tablas.
- Trazar geometrías de red.

El Network Calculator es una potente herramienta para testear, comparar y fijar valores de los atributos de los elementos de la red. Se puede acceder a él mediante la barra de herramientas.

2.2.7. Emme Prompt:

El Emme Prompt es una interfaz no gráfica similar a un software de programación. Desde él se puede acceder a todos los módulos de *Emme* escribiendo los comandos adecuados. Todas las macros son ejecutadas a través del *Emme Prompt*.

2.3. Creación del actual proyecto e inicio del programa

Una vez instalado el software en el ordenador, la primera pantalla al iniciar el programa es la siguiente (figura 9):

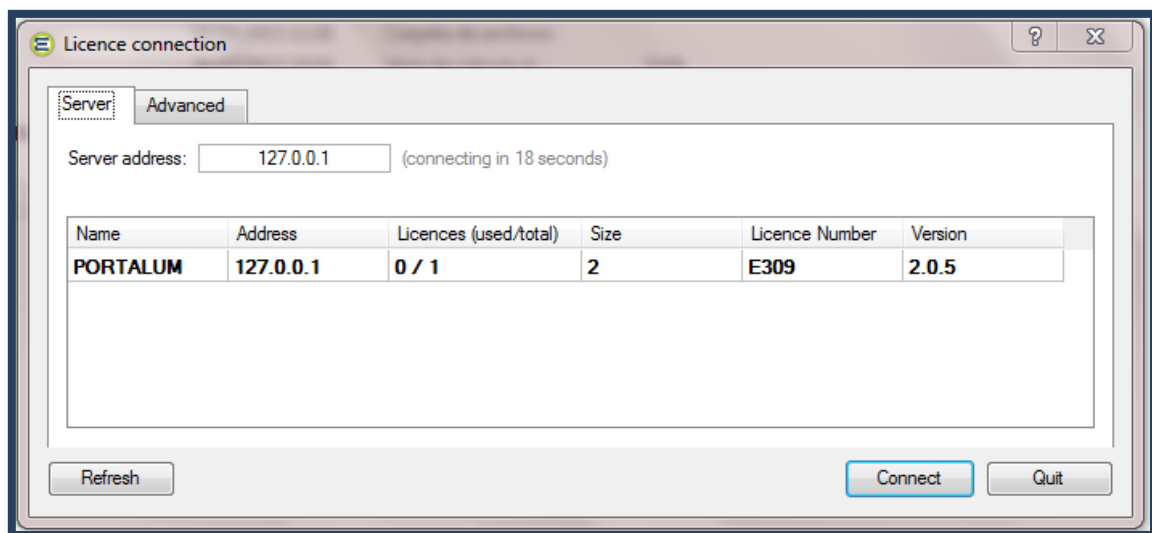


Figura 9. License connection

Esta pantalla implica la comprobación de que hay una licencia disponible en el ordenador en el que se quiere ejecutar el programa. Para el uso del programa es necesario en todo momento disponer de una licencia conectada al PC mediante USB.

Una vez se conecta a esta licencia aparece la siguiente pantalla (figura 10). En ella se pide las iniciales del usuario como identificación.

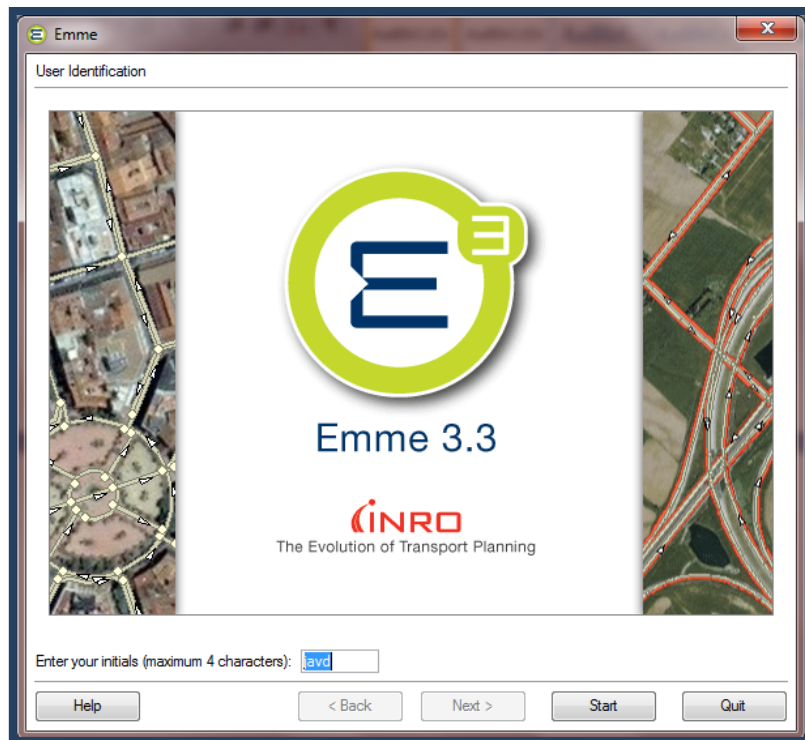


Figura 10. User identification

Una vez introducidas y clicando *Start*, se procede a crear un nuevo proyecto, a través de la siguiente interfaz (figura 11):

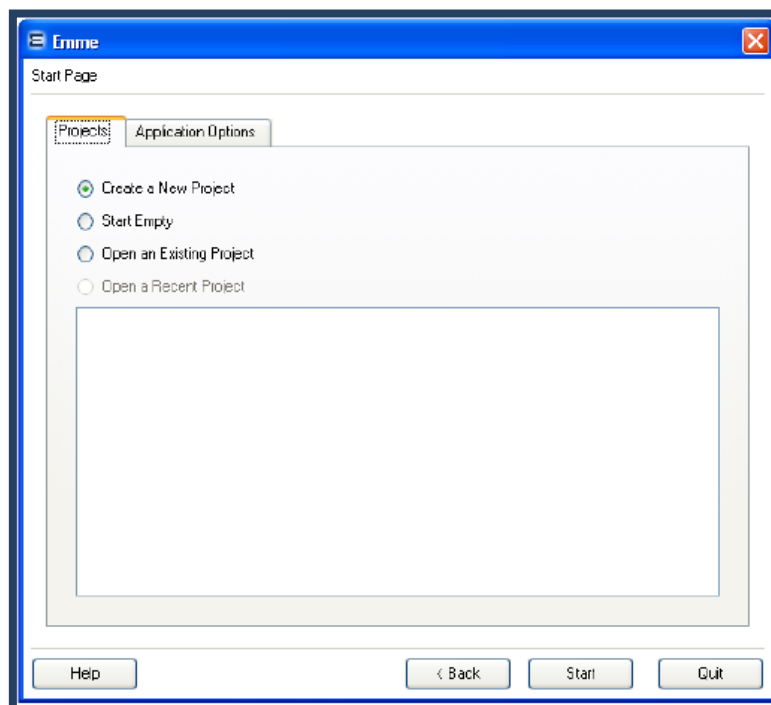


Figura 11. Start Page

Se selecciona la opción de crear un nuevo proyecto y aparece la pantalla (figura 12), para introducir el nombre del proyecto.

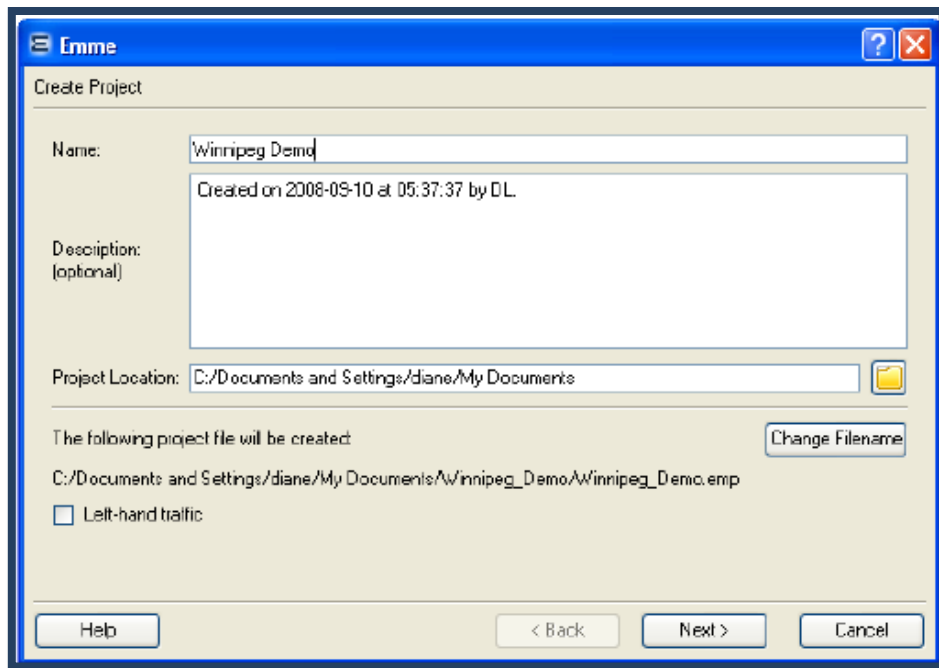


Figura 12. Create Project

En ella se incluye la ubicación en la que se guardará el proyecto, y opcionalmente se puede incluir una breve descripción del mismo. Se accede a la siguiente pantalla, desde la cual hay opción de empezar sin una base de datos inicial o importarla de una ya existente, esta última será la de interés en el presente proyecto (figura 13).

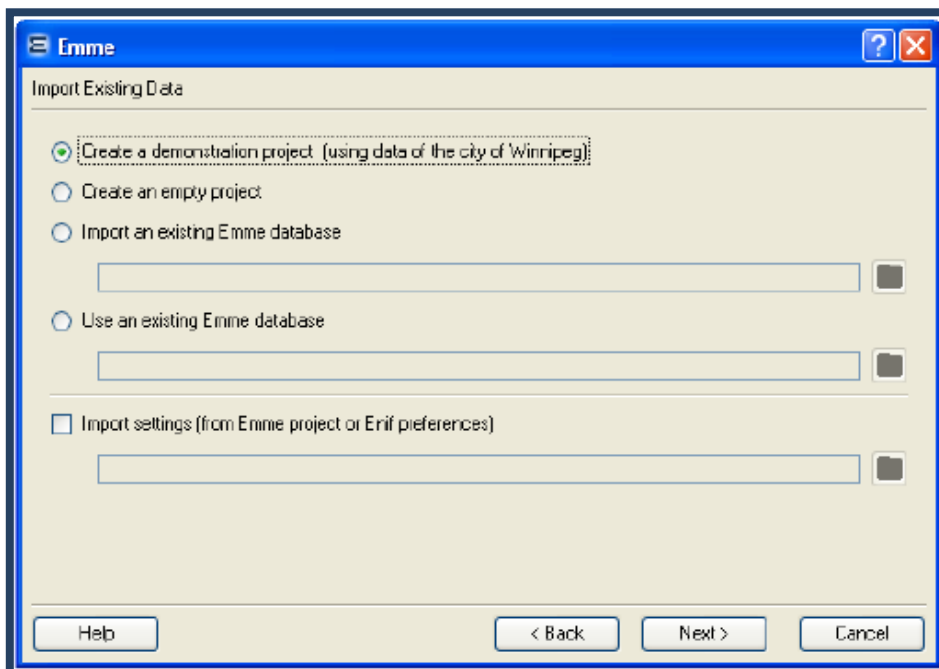


Figura 13. Import Existing Data

Se selecciona la opción mencionada y se busca el archivo que ha sido proporcionado con la base de datos de la red de tráfico de Sevilla antigua en formato de *Emme2*, la versión anterior a la utilizada para este proyecto.

La interfaz principal del programa es la siguiente (figura 14):

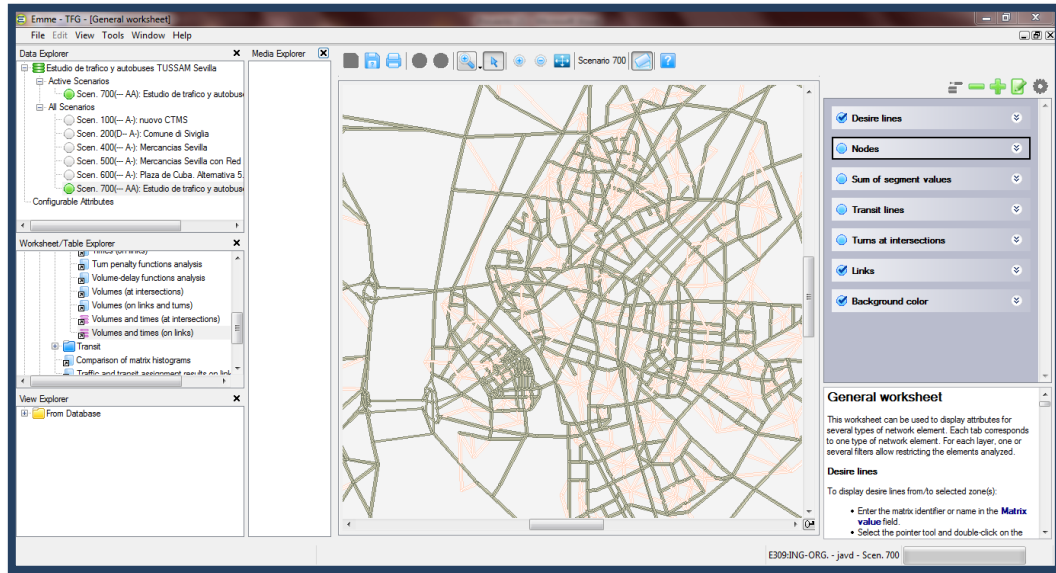


Figura 14. Interfaz principal

En ella se puede observar el mapa principal en el centro con la red de calles de la ciudad de Sevilla (sin identificación de calles). Alrededor de él se encuentran los exploradores y herramientas del programa anteriormente explicados.

3. ADAPTACIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LA RED

Como se ha comentado, la red de la que se parte tiene una antigüedad de más de quince años. Por este motivo, y debido a los constantes cambios introducidos en el viario de esta ciudad en los últimos años, esta red no es adecuada ya para realizar simulaciones sobre ella, ya que en la actualidad se dispone de una configuración (calles, sentidos, zona peatonales, etc.) que poco o nada tienen que ver con los que había entonces.

Para tener una referencia de datos lo más exhaustiva posible ha sido necesaria su total actualización y modificación según el viario actual (año 2015). Para ello se han revisado la mayoría de las calles de las que consta la red (links) para comprobar si se corresponden con la configuración actual o por si en caso contrario hubiera que modificarla en algún aspecto, como puede ser número de carriles, disponibilidad para paso de vehículos, carriles de autobús, sentidos de las calles etc.

Como la red antigua se encuentra en un archivo de base de datos de *Emme 2*, en un primer momento se comprobó la compatibilidad de estos ficheros con la versión más reciente del programa, el *Emme 3*, que es la que fue proporcionada.

El programa *Emme* permite tener varios escenarios para una red. Esto sirve para poder cargar distintas configuraciones y visualizar distintos aspectos en una red sin tener que modificarla constantemente. Concretamente, la red antigua proveniente del *Emme2* cuenta con varios escenarios, cada uno con distintas actualizaciones y configuraciones.

Con objeto de no eliminar la antigua red por si en algún caso fuera necesaria, se creó un nuevo escenario de esa red donde aplicar todas las modificaciones de este proyecto, conservando en otro escenario la antigua red sin cambios.

Tras importarlo a la nueva versión, se parte de una serie de links unidos en nodos pero que no cuentan con identificación alguna sobre la calle que modelan. Este detalle hace que la primera tarea a la hora de actualizar sea la de identificar las calles reales en el modelado del programa. Para ello se trata de buscar puntos o geometrías características del viario de Sevilla, como pueden ser los espacios entre los links debido al paso del río Guadalquivir, identificando los distintos puentes que unen la ciudad y a partir de ahí identificar el resto de calles e intersecciones.

En esta labor ha sido imprescindible la utilización de mapas y callejeros provenientes de distintas fuentes (mencionadas en la bibliografía), que detallasen el viario con la configuración más actual posible.

Para la comprobación de número de carriles y sentidos también ha sido de gran ayuda la herramienta Street View de Google. A modo de ejemplo se puede ver en la siguiente imagen (figura 15) la calle Betis a través de esta herramienta. Con ella se puede apreciar el número de

carriles con los que cuenta y en qué sentido. Además, en la esquina superior izquierda muestra en qué fecha fue tomada la foto, por lo que se puede saber si es actual o si ha podido sufrir algún que otro cambio.



Figura 15. Calle Betis por Google Street View

3.1. Proceso de edición y modificación de la red en Emme 3

Para ello se ha utilizado la herramienta Network Editor, que permite editar y modificar todos los aspectos de la red con la que se trabaja.

Se puede acceder a ella desde la barra de herramientas *Tools + Network Editor* (figura 16). Inmediatamente se abre una red similar a la mostrada al inicio del programa superpuesta, mostrando las herramientas que hacen falta para la edición.

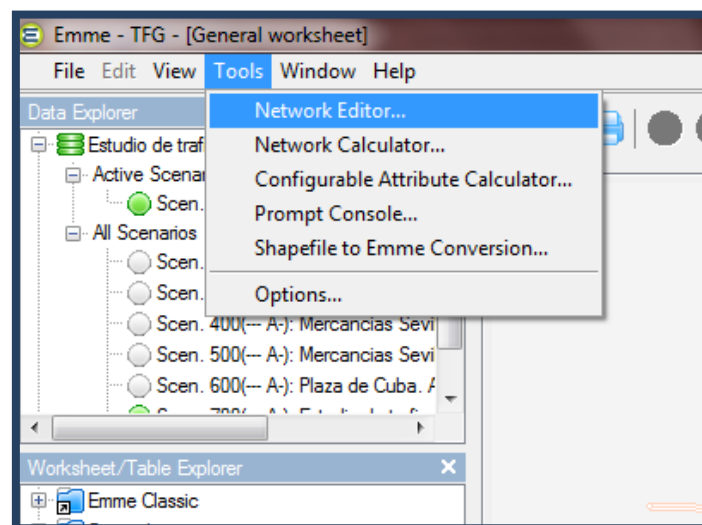


Figura 16. Herramienta Network Editor

Aparece la siguiente pantalla (figura 17), que muestra la red del viario con los sentidos y nodos marcados (estas indicaciones se pueden ocultar mediante las opciones del layer control, a la derecha del mapa). Debajo del mapa aparecen todos los datos en tabla, relativos al elemento que se tenga seleccionado, que pueden ser links, nodos/centroides, modos, vehículos, giros (turns), líneas de autobuses y segmentos de tránsito.

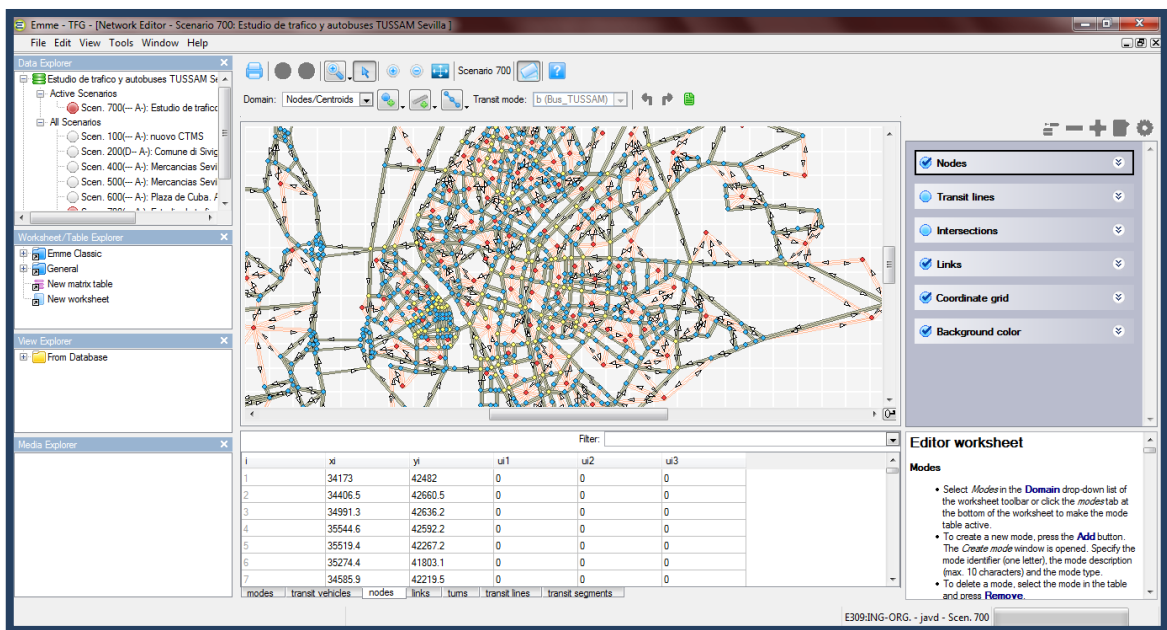


Figura 17. Pantalla en Network Editor

Las propiedades de cada uno de estos elementos son las siguientes:

- Nodos/centroides: Se identifica cada uno numéricamente mediante la columna "i". A la derecha de ésta se encuentran las coordenadas X e Y donde se sitúan exactamente (figura 18).

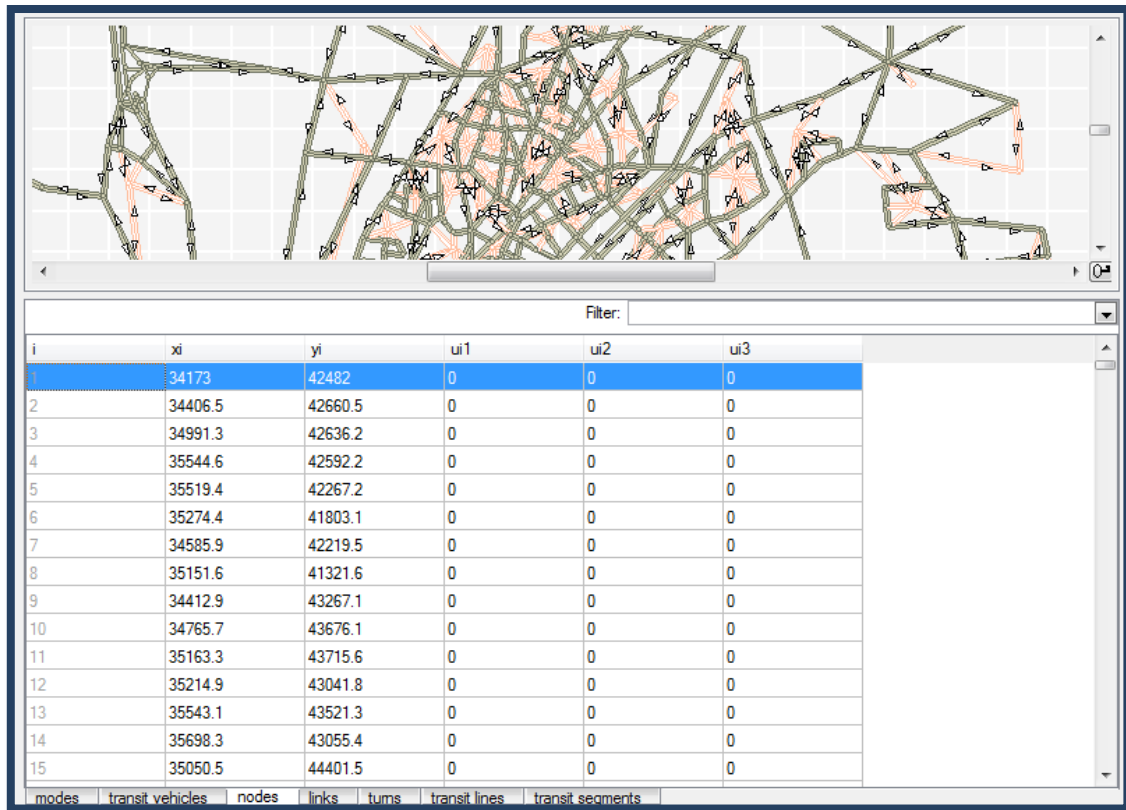


Figura 18. Lista de nodos

- Modos: Es la lista con los diferentes medios de transporte posibles en la simulación (figura 19). Se identifican mediante una letra en la columna “mode”. La columna *type* señala qué tipo de vehículo es y en la columna *description* aclara exactamente a qué medio de transporte se refiere.

A este elemento se pueden añadir otros datos para valorar diferentes aspectos del tráfico que no son objeto del alcance de este proyecto, como pueden ser el coste por unidad o por distancia (columna “cpul”), coste por hora del transporte (columna “cphr”), energía por unidad o distancia (columna “epul”), energía por hora (columna “ephr”) y velocidad auxiliar o factor de tiempo (columna *spdfac*).

Como se puede ver en la imagen, los modos para este proyecto en la ciudad de Sevilla son el coche particular, autobús Tussam, peatón, autobús auxiliar (interurbano), autobús de trayectos largos, tren de cercanías y tranvía. No obstante, este proyecto se centra en el vehículo particular (coche privado), aunque los demás vehículos consten en la simulación.

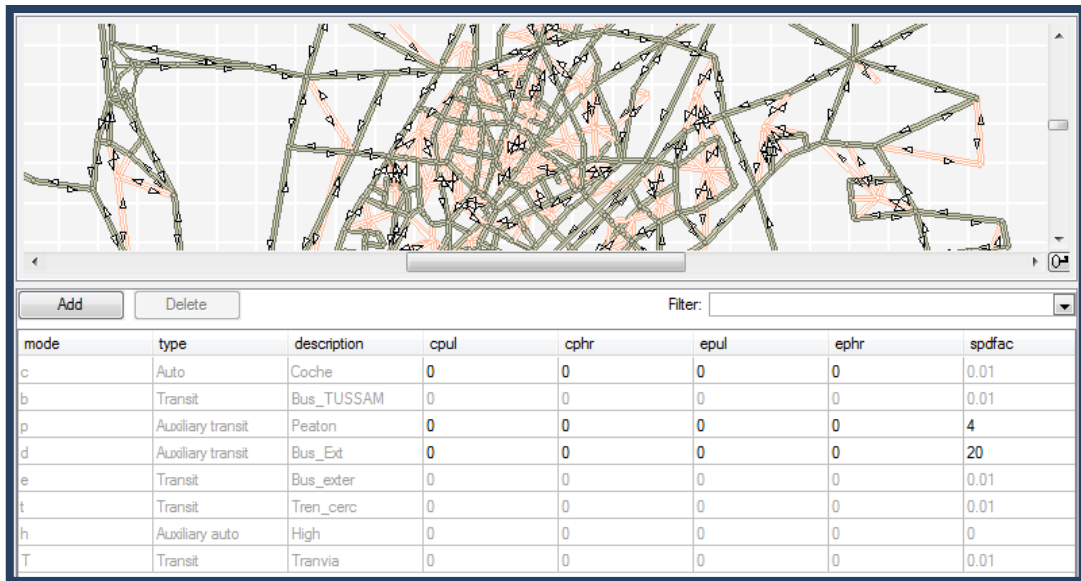


Figura 19. Lista de modos

- Vehículos públicos: Describe las características de los vehículos que se utilizan en transporte público. Los diferentes vehículos diferenciados son, como se puede observar en la imagen (figura 20), autobús urbano (b), autobús exterior (e), tren de cercanías (t) y tranvía (T).

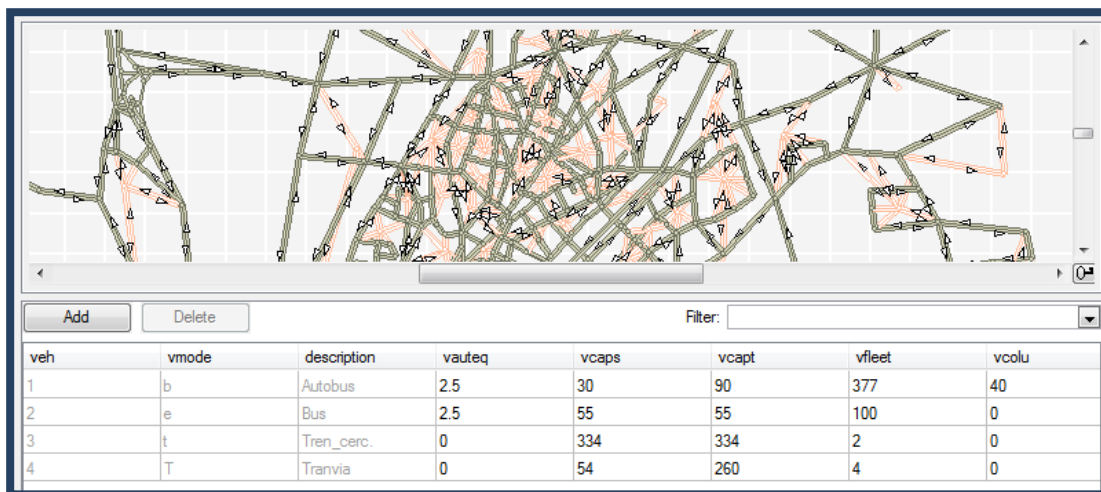


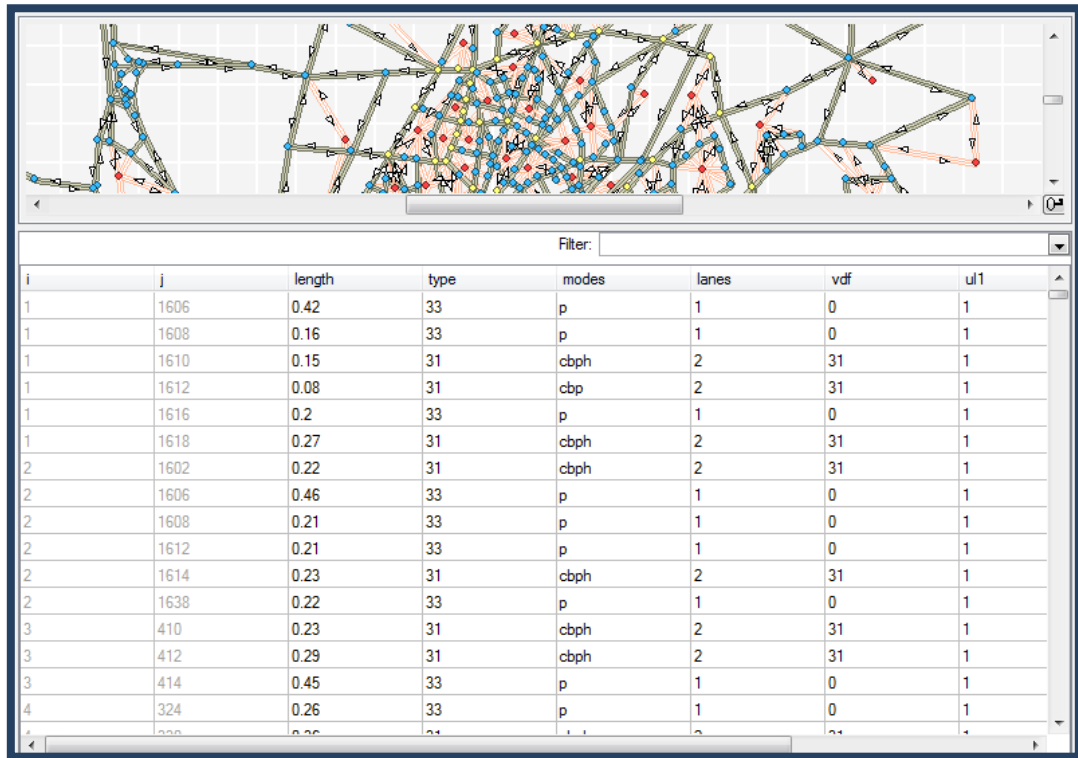
Figura 20. Lista vehículos

Las características que se pueden añadir a cada vehículo son de capacidad de transporte y costes.

- Links: En este proyecto es el elemento que tiene más relevancia. Componen el listado de enlaces entre los nodos, describiendo el nodo desde el que parten (columna i), el nodo donde terminan (columna j), la longitud del link (columna length), los modos que pueden circular por él (columna modes), el número de carriles (columna lanes) y posibilidad de añadirle funciones en el resto de columnas.

Las propiedades más usadas en la actualización de esta red han sido los modos aptos para circular por ese link y el número de carriles con los que cuenta. Notar que cada link va en una única dirección, por lo que, por ejemplo, para una calle de dos sentidos deberán incluirse dos links distintos.

Esto hace, igualmente, que siempre exista al menos un link en cada sentido, ya que, aunque no se permita la circulación de vehículos, los peatones sí podrán transitar por cualquier calle en ambos sentidos.



i	j	length	type	modes	lanes	vdf	ul1
1	1606	0.42	33	p	1	0	1
1	1608	0.16	33	p	1	0	1
1	1610	0.15	31	cbph	2	31	1
1	1612	0.08	31	cbp	2	31	1
1	1616	0.2	33	p	1	0	1
1	1618	0.27	31	cbph	2	31	1
2	1602	0.22	31	cbph	2	31	1
2	1606	0.46	33	p	1	0	1
2	1608	0.21	33	p	1	0	1
2	1612	0.21	33	p	1	0	1
2	1614	0.23	31	cbph	2	31	1
2	1638	0.22	33	p	1	0	1
3	410	0.23	31	cbph	2	31	1
3	412	0.29	31	cbph	2	31	1
3	414	0.45	33	p	1	0	1
4	324	0.26	33	p	1	0	1

Figura 21. Lista de links

- Giros (turns): Con ellos se representan las intersecciones y rotondas. Se identifican expresando el nodo en el que se encuentran y el giro en cuestión, indicando el nodo de partida y el de destino. Para cada uno de estos movimientos se puede incluir un retraso o penalización en el tiempo de giro, dependiendo de las características y complejidad de la maniobra.

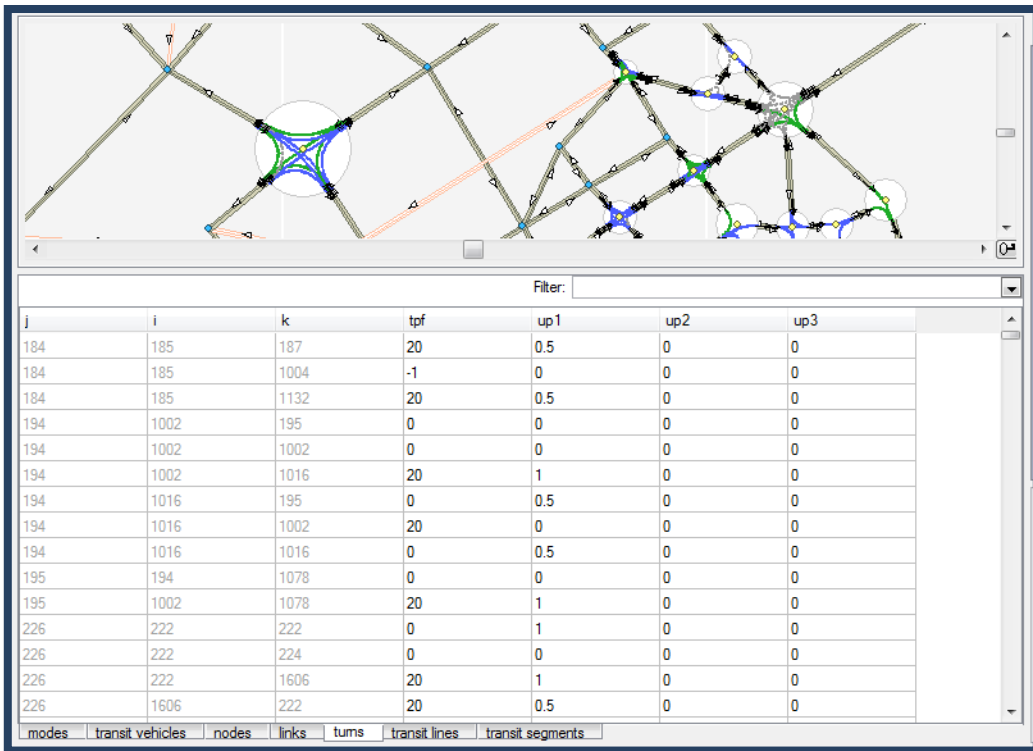


Figura 22. Lista turns

- Líneas de autobuses (Transist lanes): Muestran el itinerario de cada una de las líneas Tussam, así como la velocidad media de cada línea.

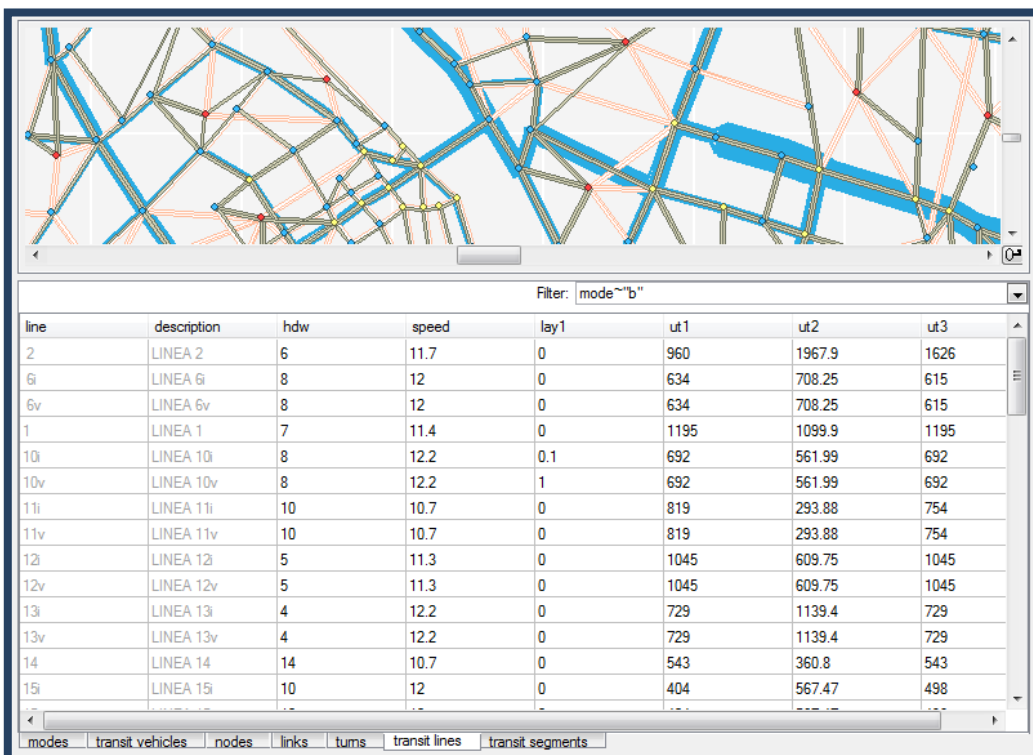


Figura 23. Lista líneas de tránsito

Los cambios y modificaciones se pueden modificar directamente desde la tabla.

Se detallarán las modificaciones más importantes que se han llevado a cabo en esta red, dividiéndolas por zonas aproximadas para mejor visualización en el mapa. Las zonas divididas se pueden ver en la siguiente imagen (figura 24):

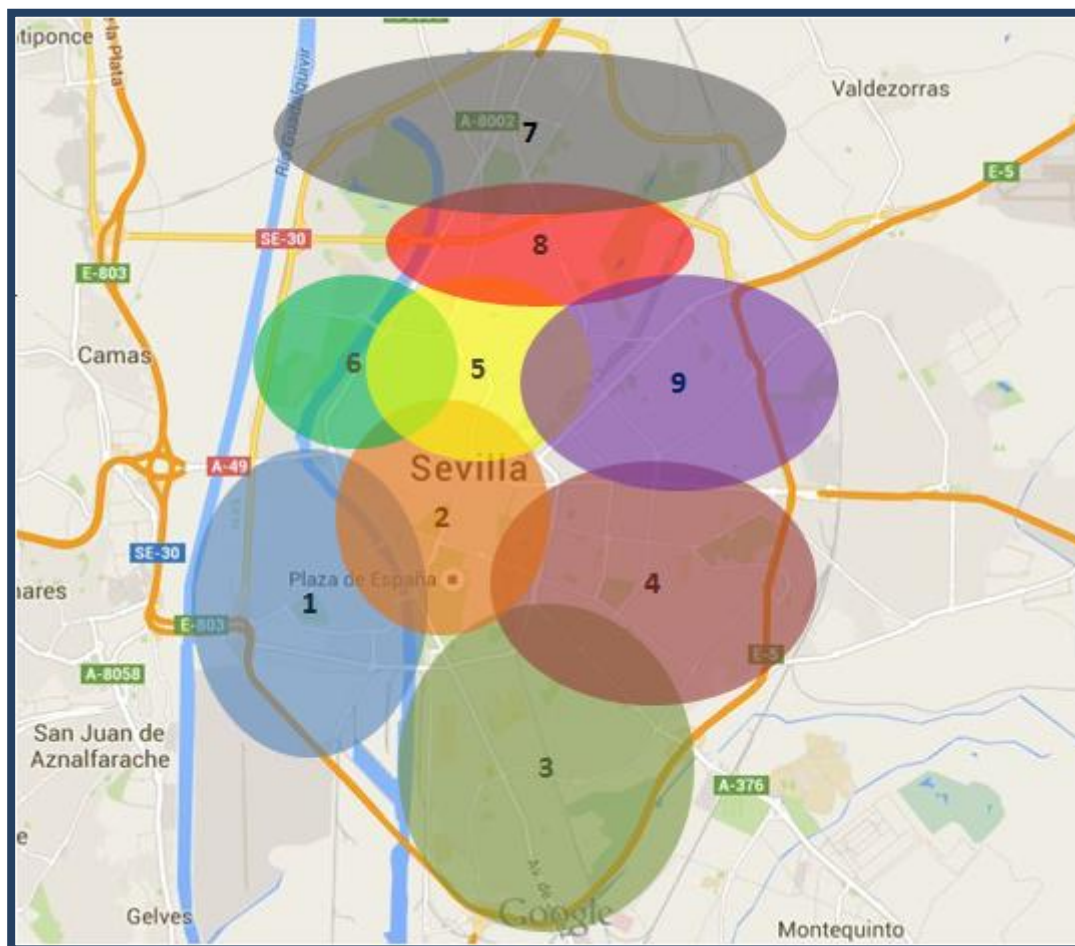


Figura 24. Distribución de zonas

Ubicación de las zonas:

- Zona 1: Esta zona comprende el barrio de Triana y los Remedios. A lo ancho desde la carretera Cádiz-Huelva hasta Calle Betis, y en vertical desde el puente de Cristo de la Expiración hasta el barrio de los Remedios inclusive.
- Zona 2: Incluye la zona centro desde el puente de san Telmo hacia el este, abarcando los alrededores de Puerta Jerez.
- Zona 3: Incluye la zona sur de Sevilla, abarcando los alrededores de Reina Mercedes, el Paseo de la Palmera y la Avenida de la Paz.
- Zona 4: Centro este de Sevilla, alrededores de Eduardo Dato.

- Zona 5: Zona del barrio de la Macarena, abarca la ronda y la zona norte de ella.
- Zona 6: Incluye la zona de Torneo hacia el este.
- Zona 7: Abarca la zona norte de Sevilla, por encima de la Ronda norte.
- Zona 8: En esta zona se han incluido gran cantidad de calles que se encuentran al norte de la Macarena y en sus alrededores.
- Zona 9: La zona 9 incluye las calles de los alrededores de la avenida de Kansas City.

3.1.1. Modificaciones en Zona 1

Las modificaciones más relevantes llevadas a cabo en esta zona son las siguientes:

Cambio de sentido en la calle Betis, mientras que en la antigua red era de doble sentido, actualmente es de sólo uno. La circulación se dirige desde el nodo que une esta calle con el Puente de Isabel II hasta el nodo de la glorieta del Puente de San Telmo.

Eliminación del doble sentido de la calle Castilla, permitiéndose actualmente únicamente el sentido que va hacia el Puente Isabel II.

Igualmente se elimina un sentido en la calle Plaza de Chapina. Anteriormente era de ambos sentidos.

Rectificado el sentido de la calle San Vicente de Paul, también modificado.

En San Jacinto, eliminación de un sentido y se ha tenido en cuenta la zona peatonal que da a Calle Betis, inexistente años antes.

Rectificación del número de carriles de la calle Esperanza de Triana (ahora uno para cada sentido, antes dos).

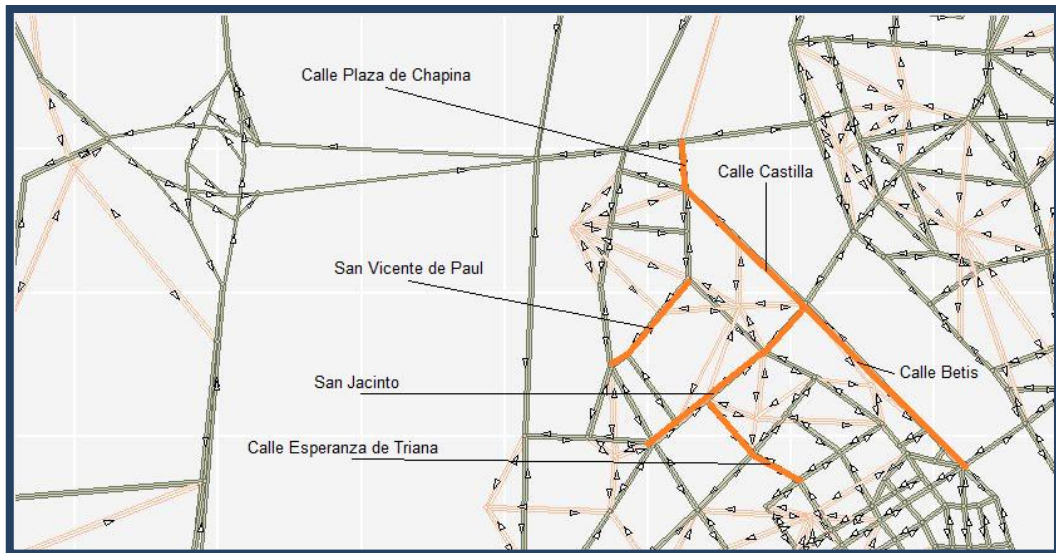


Figura 25. Zona norte de Triana

Conversión de la Avenida Álvar Núñez en sólo un carril, cuando anteriormente era de dos.

En la Avenida Blas Infante se ha reducido un carril para ambos sentidos, siendo actualmente de dos carriles en cada dirección mientras que en la red antigua constaban tres carriles por sentido.

Adicción del doble sentido de la calle Trabajo.

Eliminación de un carril y del doble sentido en la Calle Virgen del Águila.

Reducción de un carril en la calle Farmacéutico Murillo, antes de dos carriles.

Rectificación de la Calle Paraíso.

Eliminación de un carril en el último tramo de República Argentina.

En la Calle Juan Díaz de Solís, eliminación de un carril.

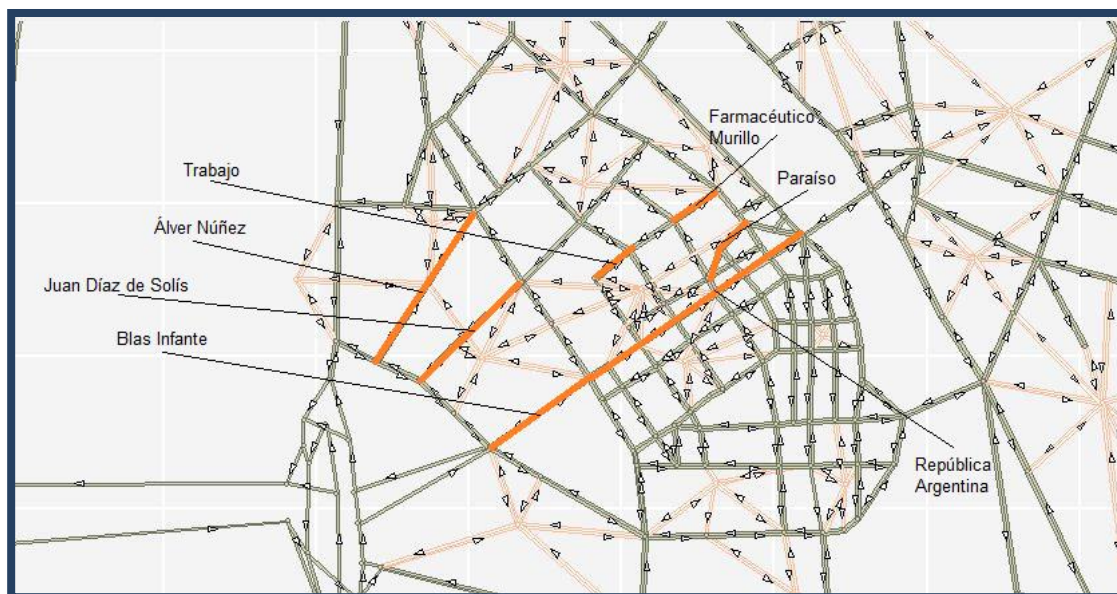


Figura 26: Zona 1

Inclusión de un carril a la calle Rubén Darío.

Rectificado del número de carriles de la carretera Cádiz – Huelva.

Modificación de la intersección de la plaza de cuba, ya que cambia el sentido de la calle San Juan Sebastián El Cano, no permitiéndose la entrada a la rotonda desde esta calle.

Inclusión de los links para peatones en la calle niebla, que no se contemplaban en la red antigua.

Rectificación del sentido de la calle Virgen de la Consolación.

Inclusión del link para peatones en la Calle Fernando IV, ya que la red anterior sólo permitía circular vehículos y no peatones.

Se añade paso peatonal a la calle Asunción.

Rectificación del sentido de la mitad de la calle Virgen de la Victoria.

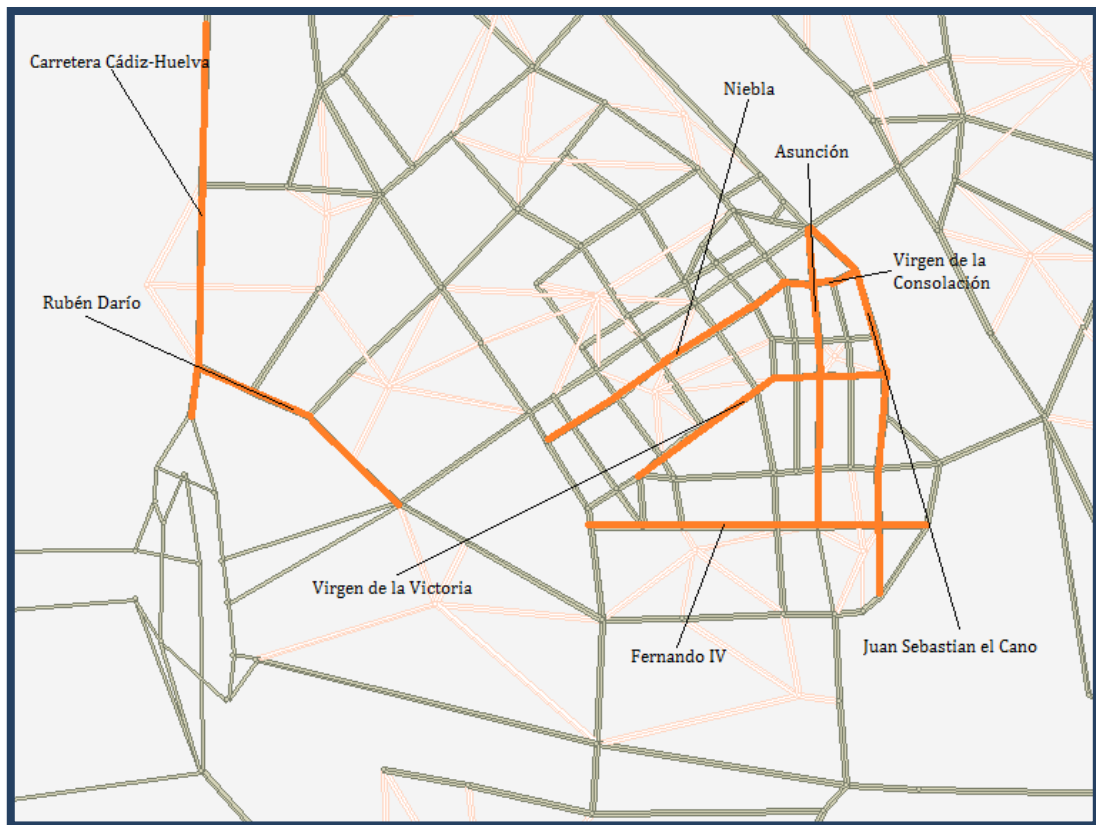


Figura 27. Zona 1

3.1.2. Modificaciones en Zona 2

Los cambios más significativos realizados en esta zona son:

Adición de carriles en Reyes Católicos.

Rectificación de la calle Santa Patronas y número de carriles de la calle Julio Cesar.

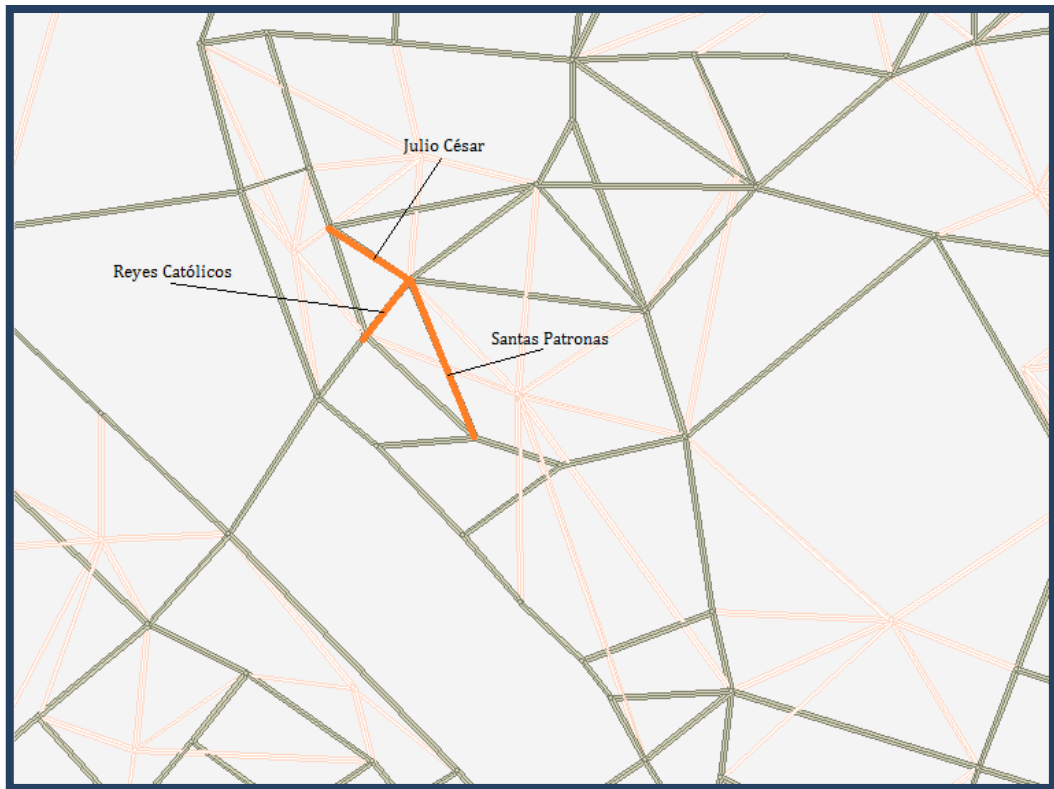


Figura 28. Zona 2

Rectificación de algunos tramos del Paseo de las Delicias en cuanto a número de carriles.

Rectificación del sentido de los carriles del puente de San Telmo.

Actualización de toda la zona de Puerta Jerez y Catedral, ya que antes estaba permitido el tránsito de vehículos y actualmente es sólo peatonal.

Adicción de dos carriles más en Avenida María Luisa en sentido sur-oeste.

Adicción de un carril más para cada sentido en la avenida Portugal.

Inversión del sentido de uno de los carriles de la calle Palos de la Frontera.

Adicción de carriles en la Avenida el Cid.

Rectificación del sentido de la Avenida Carlos V (un sentido sólo para Tussam). Cambio del número de carriles de tres a dos por sentido.

Cambio en la intersección entre la Avenida Carlos V y Avenida de la Borbolla (actualmente una rotonda) permitiendo todos los giros con una penalización de tiempo en función de lo que se tarde en ejercer el giro.

Eliminación del sentido oeste de la calle Miguel Rodríguez Piñero.

Rectificación carriles en Avenida de la Borbolla.

Modificación total Calle Avión Cuatro Vientos.

Rectificación total de la avenida de la constitución.

Adición de un carril en la Avenida Menéndez Pelayo en sentido hacia al Prado.

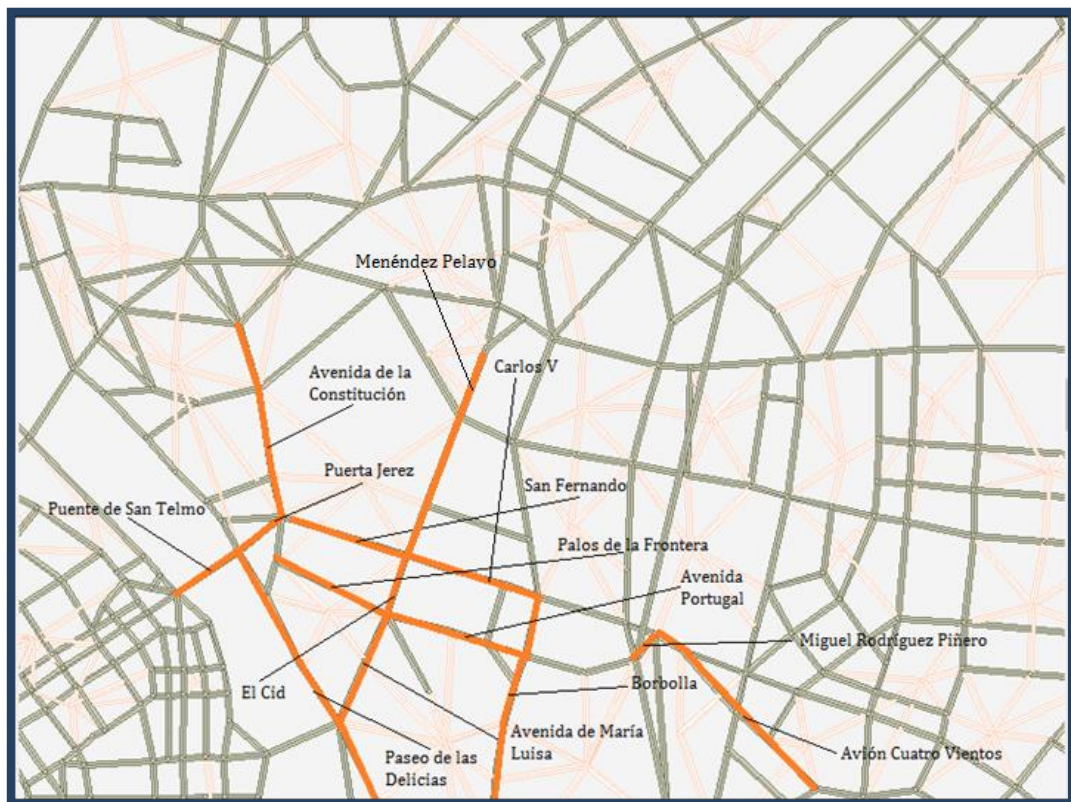


Figura 29. Zona 2

3.1.3. Modificaciones en Zona 3

Los cambios destacados en esta zona son los siguientes:

Se añade un carril a la Calle Cardenal Bueno Monreal y a la avenida Diego Martínez Barrio.

Eliminación del paso de vehículos por el Puerto de Paseo de las Delicias, antes permitido.

Rectificación de los carriles en el Paseo de la Palmera.

Eliminación de un carril en la Avenida Reina Mercedes.

Rectificación de carriles en la Avenida de la Guardia Civil.

Adición de un carril en la Avenida de la Paz para sentido sur este.

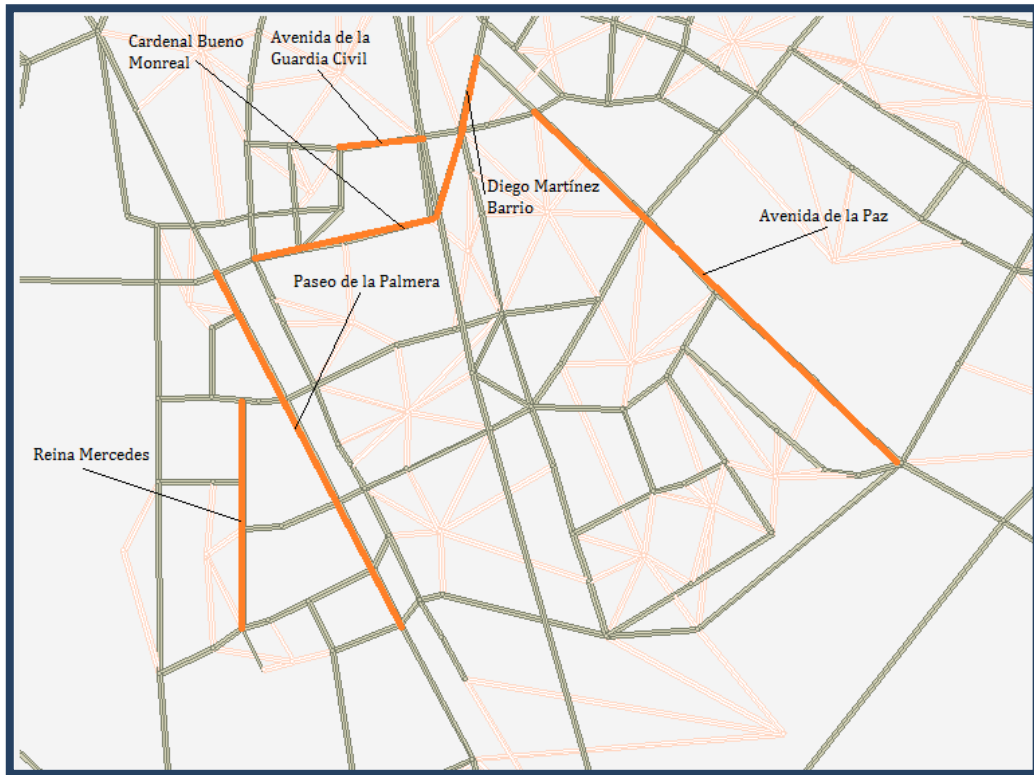


Figura 30. Zona 3

3.1.4. Modificaciones en Zona 4

Los cambios más importantes en esta zona se consisten en:

Rectificación carriles en Demetrio de los Ríos y Eduardo Dato.



Figura 30. Zona 4

Adición de un carril más para cada sentido en avenida Juan XXIII y en calle Amor.

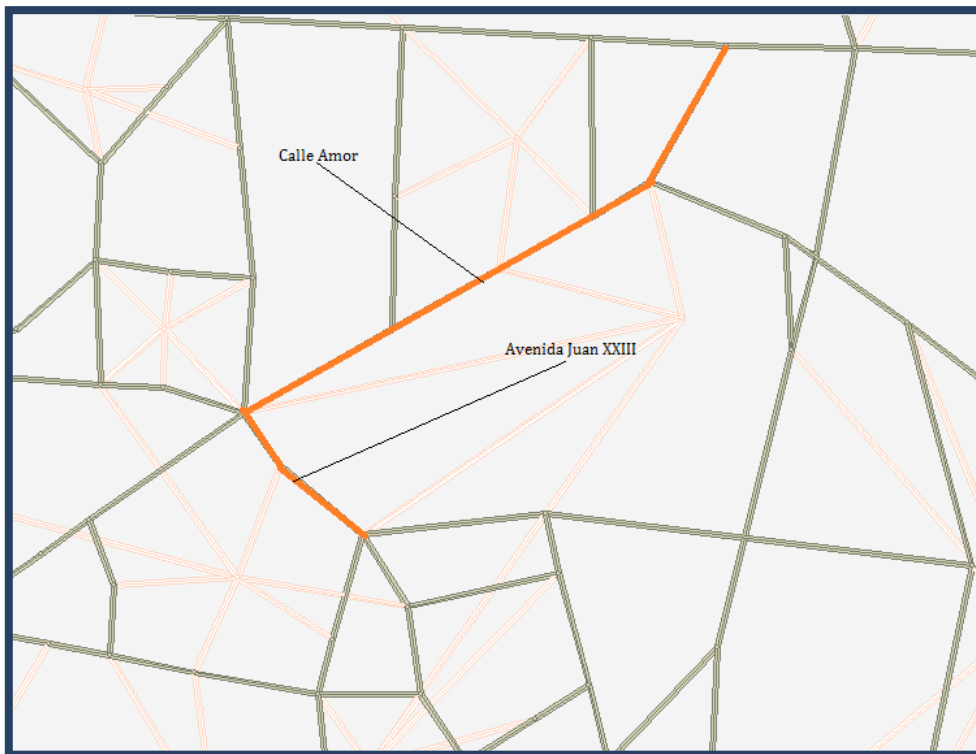


Figura 31. Zona 4

3.1.5. Modificaciones en Zona 5

La actualización en esta zona es la siguiente:

Modificación en el sentido de la ronda que incluye las calles Resolana, Ronda de Capuchinos, María Auxiliadora, Calle Recaredo hasta la Plaza de San Agustín en sentido hacia la Barqueta (Río). Actualmente en este sentido de esta ronda existe un solo carril para bus y taxi.

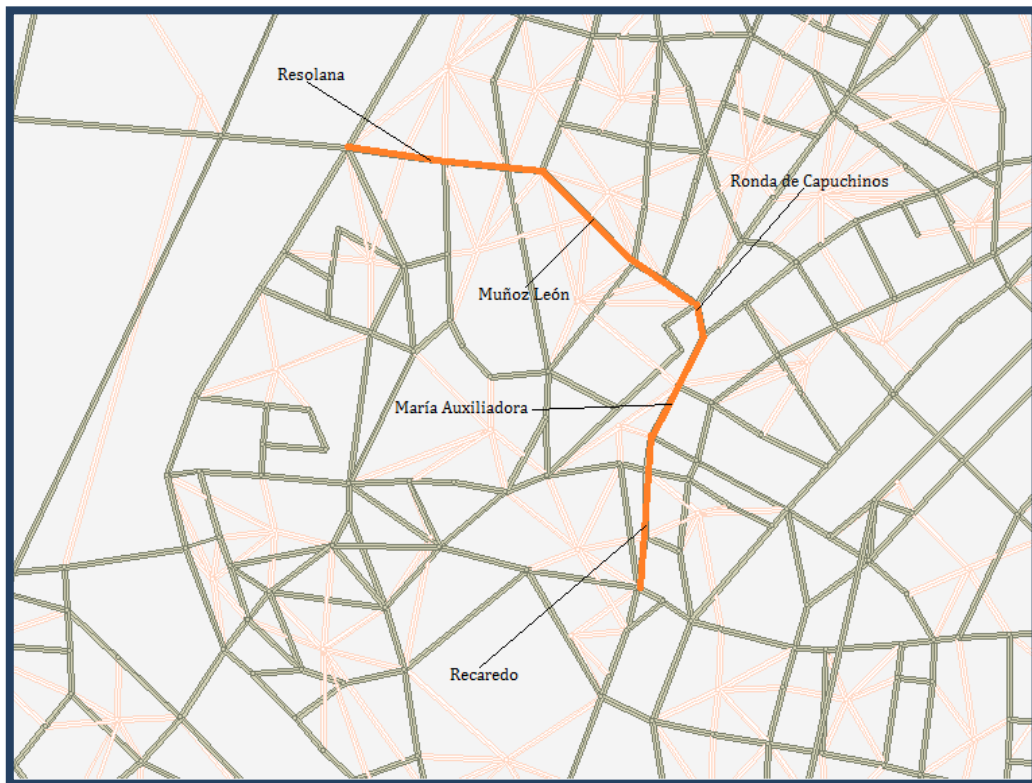


Figura 32. Zona 5

Modificación en la Calle León XIII. En sentido norte-sur (hacia Ronda de Capuchinos) sólo se permite el paso peatonal, mientras que en sentido contrario, sur-norte, se permite también la circulación de vehículos por un carril.

Cambio en la Calle Don Fabrique y Avenida Sánchez Pizjuan (continuación). En sentido hacia la Calle Resolana (norte-sur) tan sólo se permite la circulación de peatones, mientras que en el sentido contrario, (sur-norte) hay dos carriles para coches y autobuses.

Las calles José Díaz y Doctor Marañón en sentido oeste-este (desde Alberto Jiménez Becerril) se ha actualizado quedando un carril para autobús únicamente. En sentido contrario, de Este a oeste (hacia Alberto Jiménez Becerril) se tienen tres carriles para paso de vehículos.

La calle Manuel Villalobos actualizada se queda con un carril en cada sentido para la circulación de los vehículos.

Modificación en la Avenida de la Cruz Roja, dejando un carril apto para vehículos en el sentido de la calle hacia la ronda.

Cambio igualmente en la Calle Madreselva, un carril en sentido norte-sur. Del mismo modo la calle adyacente a ésta Doctor Jiménez Díaz queda con un carril en sentido norte-sur, hacia la avenida.

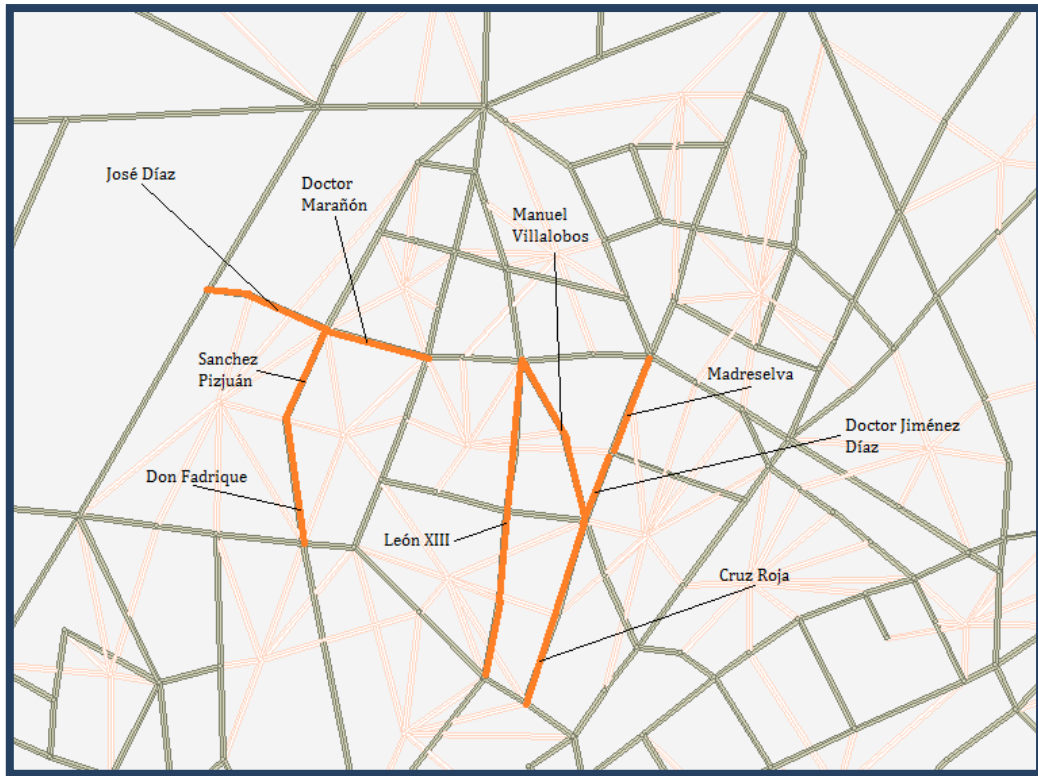


Figura 33. Zona 5

3.1.6. Modificaciones en Zona 6

En esta zona los cambios más relevantes han sido:

En la calle Torneo actualmente se disponen de cuatro carriles en sentido hacia el Puente de la Barqueta (Sur- norte).

Modificación en la calle San Laureano, quedando dos carriles en sentido hacia la calle Torneo (este-oeste).

Modificación de dos tramos de la calle Marqués de Paradas en sentido sur-norte, teniendo ambos dos carriles para circulación.

La calle perpendicular a la anterior, Luis de Vargas, dispone de cinco carriles en sentido hacia Torneo (este-oeste).

Modificación en un tramo de la calle Feria, en sentido hacia la calle Resolana (sur-norte), quedando este último tramo con dos carriles.

Cambio en la calle Trajano en sentido desde el Duque hasta Alameda (sur-norte), quedando paso peatonal únicamente en este sentido.

El sentido de la calle Guadalquivir en dirección desde Torneo (Oeste-este) queda también peatonal.

Modificación en el último tramo de la Avenida Miraflores, en sentido sur-norte, actualizando a tres carriles para circulación.

Cambio en la calle Fray Isidoro de Sevilla, quedando el sentido oeste-este sólo peatonal.

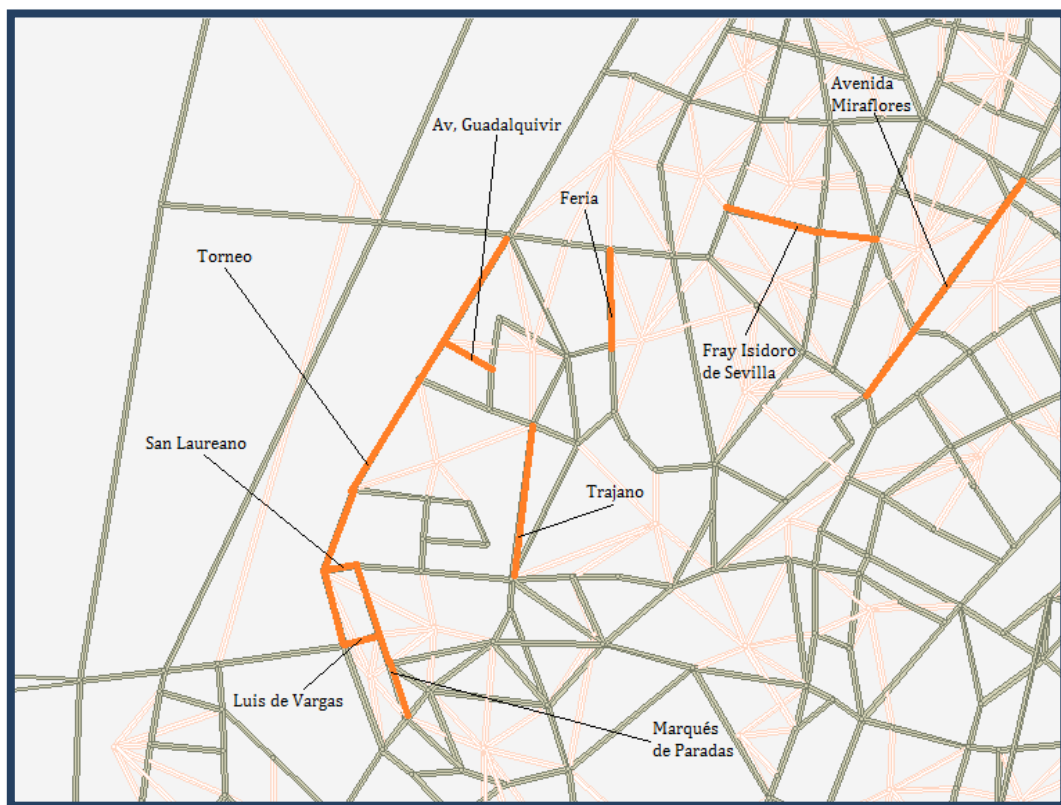


Figura 34. Zona 6

3.1.7. Modificaciones en Zona 7

En esta zona las principales modificaciones ejecutadas son las siguientes:

Cambio en la Calle Cataluña, quedando con dos carriles en cada sentido.

La calle Ingeniería junto con la carretera Sevilla-Brenes quedan con dos carriles en cada sentido.

La calle Cortijo de las Casillas queda en la red actual con un carril en cada sentido.

La calle Camino de los Toros se actualiza con un carril para cada sentido (modificación únicamente en un tramo de la calle).

En La Ronda Urbana Norte se incluyen los cuatro carriles actuales para cada sentido.

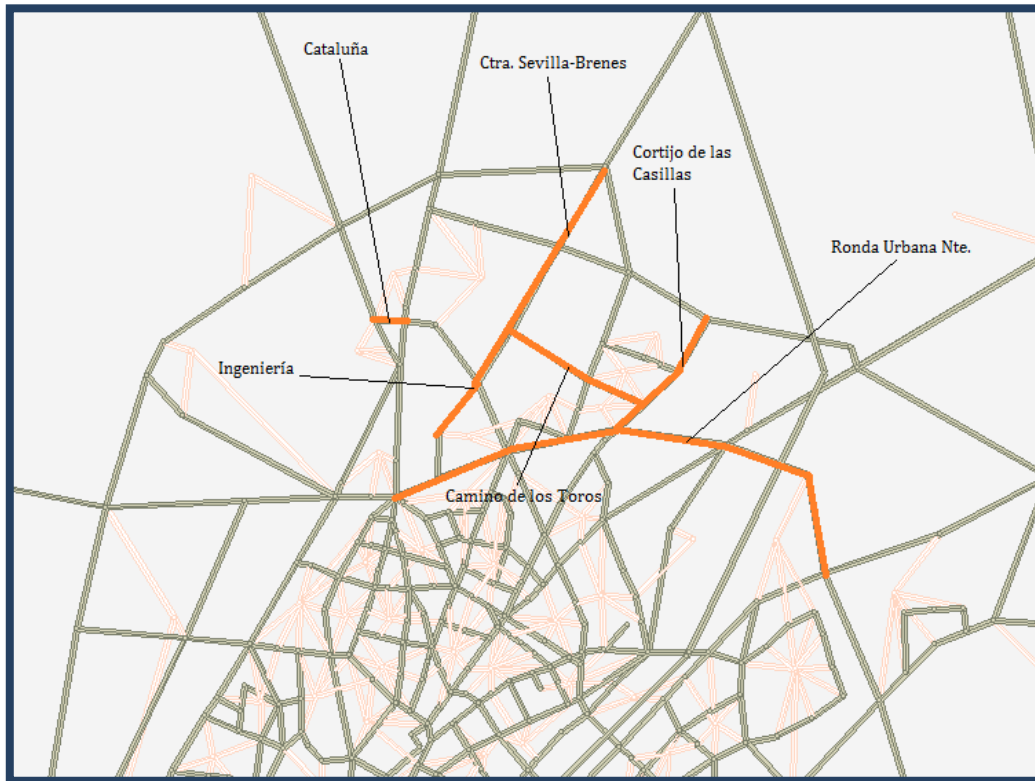


Figura 35. Zona 7

3.1.8. Modificaciones en Zona 8

Las actuaciones más relevantes en esta zona son:

Modificación en algunos tramos de la avenida Doctor Fedriani, con un tramo de dos carriles en ambos sentidos y otro tramo de la misma calle con tres en cada sentido.

Cambio en la calle Doctor Leal Castaños, en sentido hacia Alberto Jiménez Becerril (este-oeste), dejando un carril para autobús y peatones únicamente.

Igualmente la calle Sor Francisca Dorotea se queda en sentido desde Alberto Jiménez Becerril (oeste-este) con un carril en el que se admite el tránsito de autobuses y peatones pero no de vehículos privados.

La avenida Pueblo Palestino se ha modificado en el sentido oeste-este para que no pueda haber circulación de vehículos en este sentido, únicamente peatonal.

La calle El Real de la Jara se ha modificado para que conste como un carril en cada sentido para circulación.

En La calle Valdelarco se han modificado ambos sentidos. En sentido oeste-este se tiene un carril apto para autobuses y coches, mientras que en sentido contrario, este-oeste, sólo se deja un link para paso peatonal.

Modificación en la avenida de la Barzorla, dejando un carril para circulación de todos en ambos sentidos.

Actualización de la disposición de carriles en algunos tramos de la avenida Pino Montano. En sentido norte se edita un tramo peatonal (el primer tramo) mientras que el resto cuenta con un carril para cada sentido apto para toda circulación.

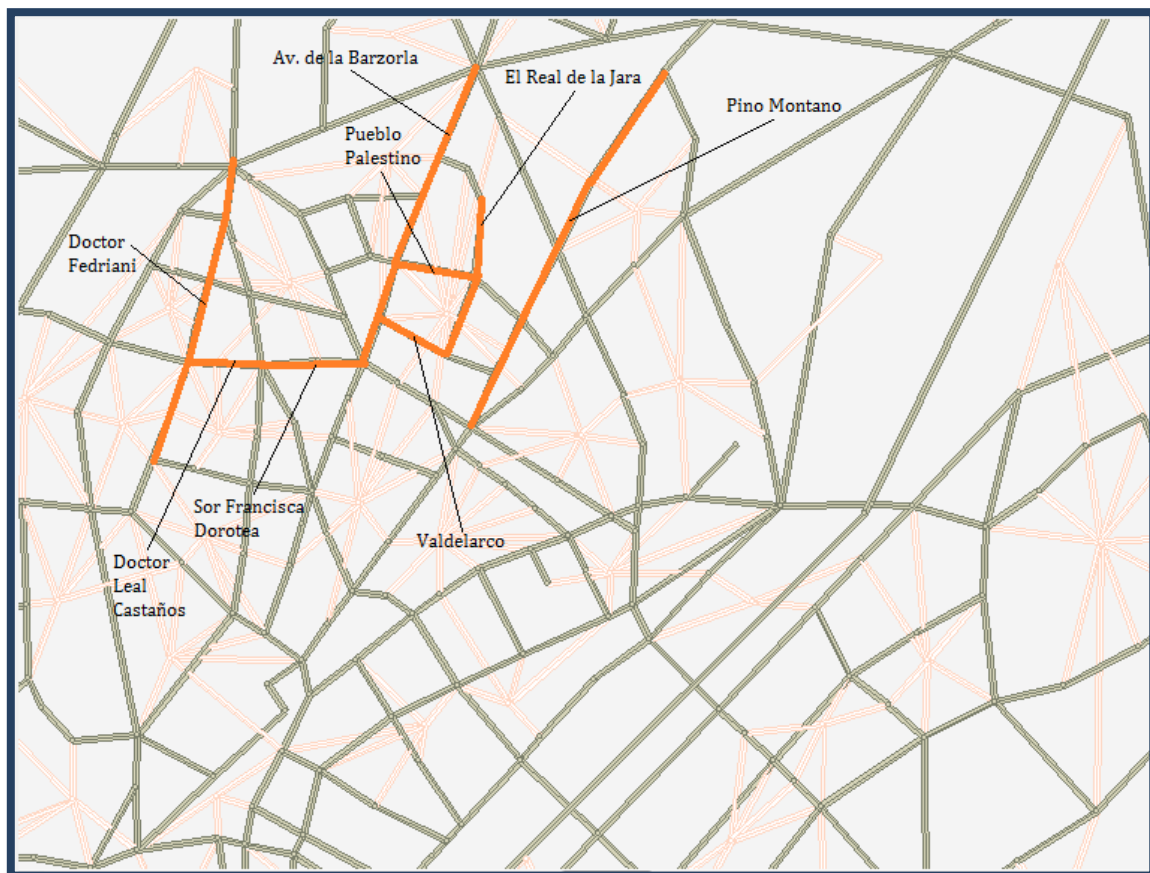


Figura 36. Zona 8

La avenida de ronda de Pío XII se actualiza en el sentido desde Alberto Jiménez Becerril (norte-sur), dejando un carril apto únicamente para autobuses y peatones.

Del mismo modo, la continuación de la calle anterior, la avenida de Llanes, se actualiza con la misma modificación, en el sentido desde Alberto Jiménez Becerril, norte-sur, se implementa un carril para autobús y peatones.

En la calle Santa María de Ordás se prohíbe la circulación de vehículos en sentido norte-sur, quedando sólo un link para el paso peatonal.

La avenida Pueblo Saharaui se actualiza en el sentido sur-norte, quedando un carril para circulación.

Se modifica la circulación en la calle Hespérides, dejando un carril para cada sentido.

La calle Conde de Halcón se edita en sentido este-oeste, dejando un carril para circulación únicamente peatonal (en este sentido).

La calle Tharsis se modifica quedando un carril en cada sentido para circulación.

Cambio en un tramo de la avenida Alcalde Manuel del Valle, dejando dos carriles aptos para todos los vehículos.

La calle Vicente de Alanís queda se cambia en sentido norte-sur, quedando un link peatonal en este sentido.

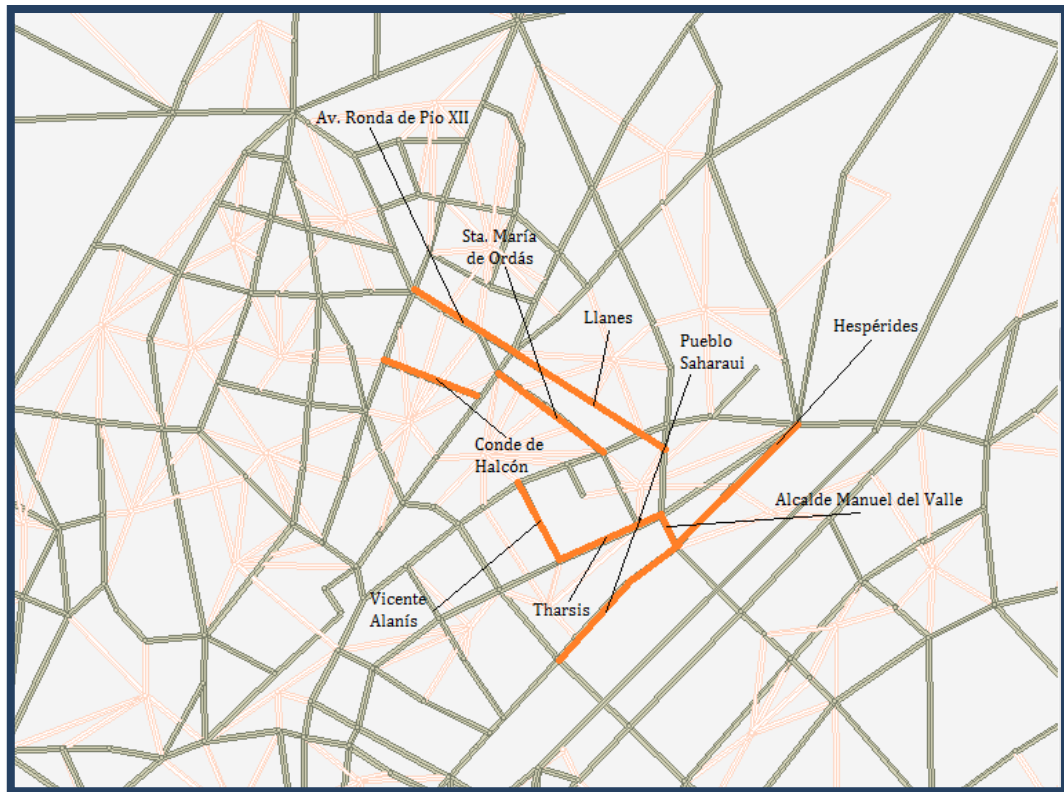


Figura 37. Zona 8

Modificación en la avenida San Juan de la Salle, en sentido norte-sur, queda con paso únicamente peatonal, mientras que en sentido inverso, sur-norte, queda con dos carriles para circulación.

Cambio en la calle Arroyo, dejando un carril hábil para circulación en cada sentido.

El sentido oeste-este de la calle Fray Isidoro de Sevilla se actualiza dejándolo únicamente peatonal.

Modificación en el sentido oeste-este (desde avenida) de la calle Gonzalo Bilbao, dejándolo apto para peatones solamente.

Cambio en la calle Amador de los Ríos, dejando en sentido sur-norte dos carriles para circulación.

Modificación en un tramo de la avenida José Laguillo, en sentido oeste-este, dejando un carril para autobús y peatones, concretamente en el primer tramo de este sentido.

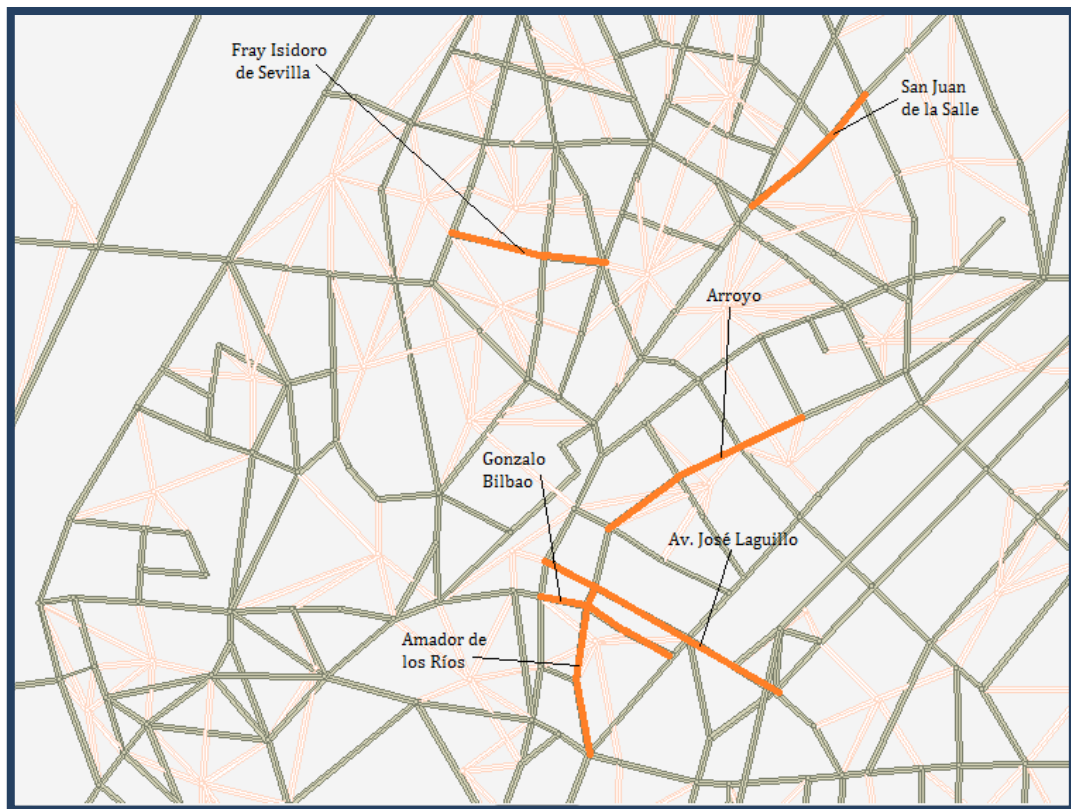


Figura 38. Zona 8

3.1.9. Modificaciones en Zona 9

En esta zona los principales cambios han sido:

La calle Doctor Laffón Soto queda con dos carriles en ambos sentidos.

La calle Jerusalén se actualiza incorporando dos carriles en cada sentido aptos para circulación.

Del mismo modo, la avenida Montes Sierra se queda con dos carriles para cada sentido.

Cambio en la calle Éfeso, que cuenta actualmente con tres carriles en cada sentido.

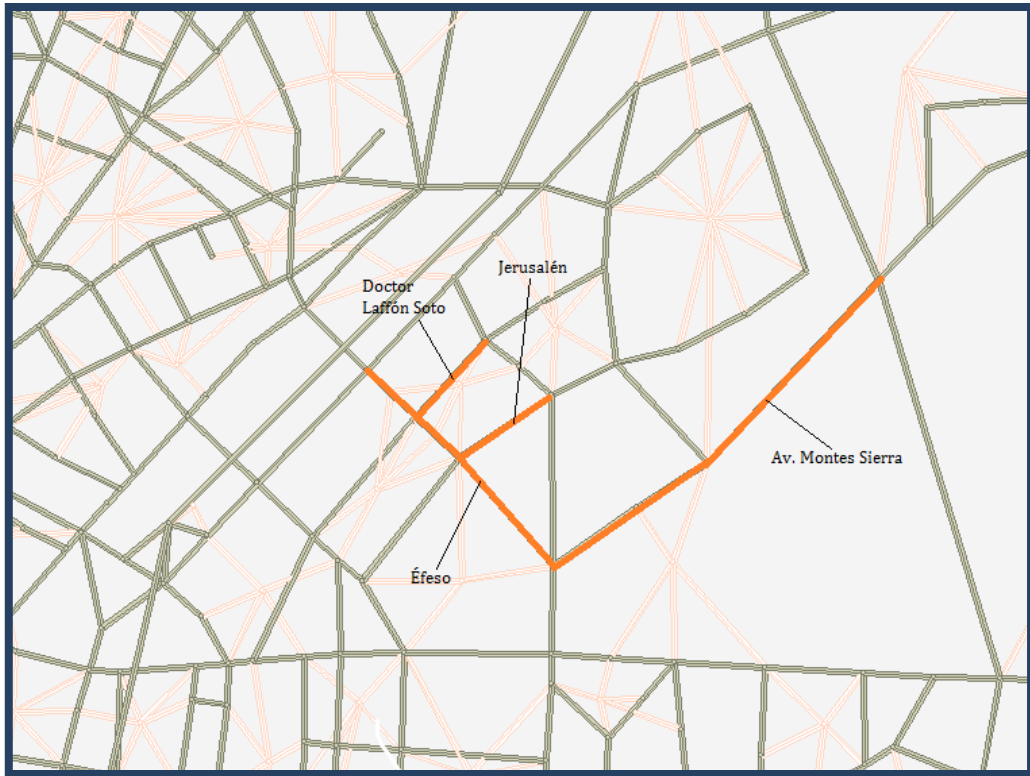


Figura 39. Zona 9

Cambio en la calle Secoya, haciendo apta la circulación para coches, autobuses y peatones mediante dos carriles en cada sentido.

En la avenida Séneca la red actualizada se queda con dos carriles en ambos sentidos.

Las calles Luis Mazzantini y Damasco se quedan con dos carriles para ambos sentidos.

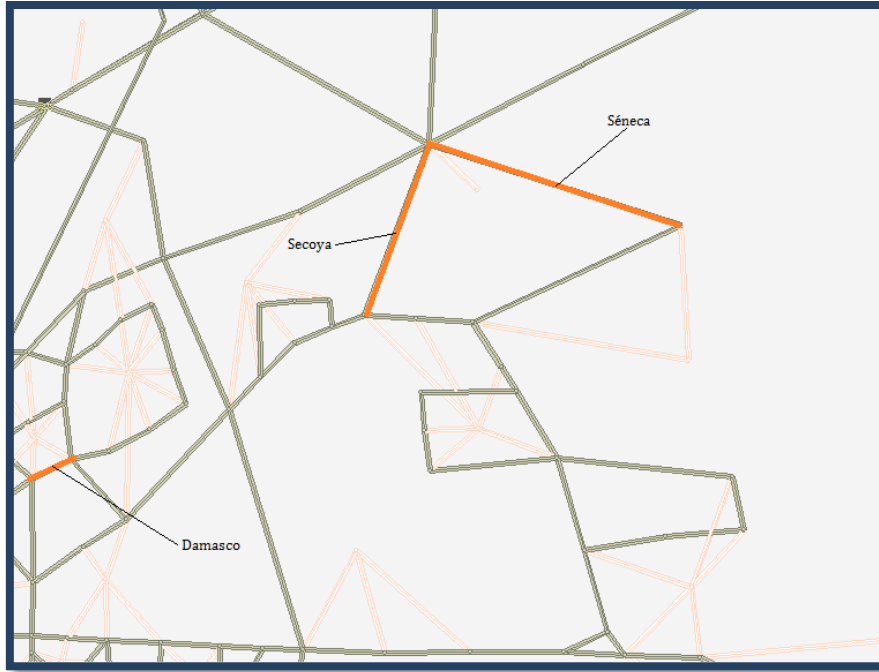


Figura 40. Zona 9

Se ha modificado la avenida Kansas City, rectificando algunos tramos, ya que esta avenida, al ser tan larga, cuenta con tramos de tres y dos carriles en cada sentido de la circulación.



Figura 41. Zona 9

4. SIMULACIONES REALIZADAS

Una vez se tiene una red actualizada del viario de la ciudad de Sevilla se procede a la simulación del tráfico. Se encuentran cargadas también las matrices origen-destino de personas y número de vehículos que se desplazan de un sitio a otro.

El procedimiento en el programa es el siguiente:

Se ejecutará el *Prompt Console* de *Emme3* (figura 42) a través de la barra de herramientas en la pestaña Tools.

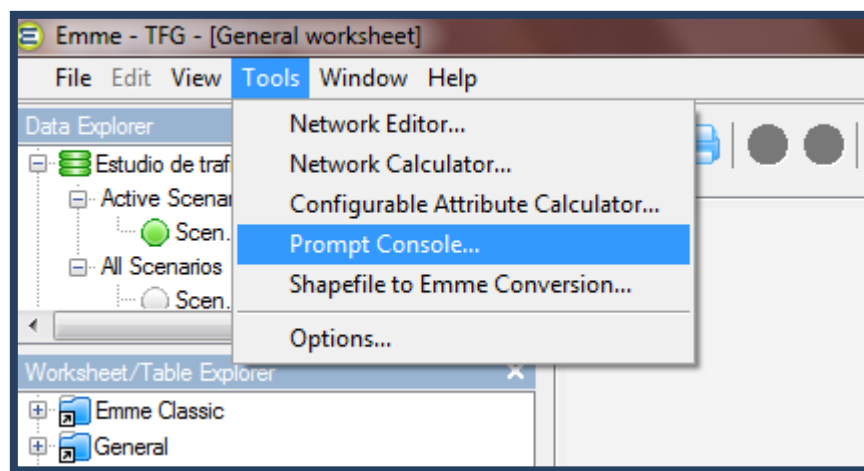


Figura 42. Inicio Prompt Console

Hecho esto aparece la siguiente pantalla, con el menú disponible (figura 43);

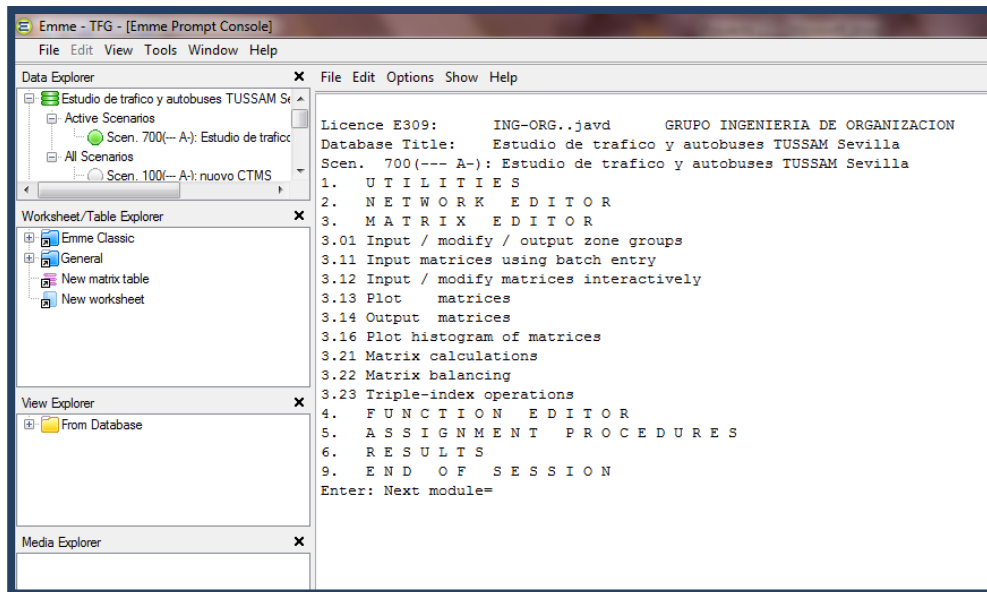


Figura 43. Menú Prompt Console

Se introduce el comando 5.11, que corresponde al módulo de simulación que interesa. Aparecen ahora las siguientes opciones (figura 44):

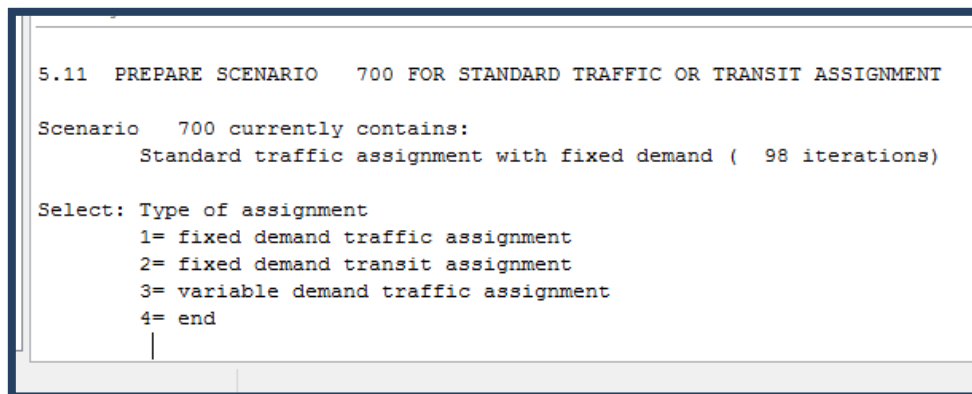


Figura 44. Tipo de asignación

Se introduce ahora la opción número uno. Puede aparecer la siguiente pregunta si con anterioridad se ha realizado otra simulación, y por tanto si se quiere seguir trabajando con ella o crear una nueva simulación (figura 45):

```
1

A standard traffic assignment has already been performed on scenario 700:
Demand:          mf01: matriz      Matriz O-D Area Metropolitana Sevilla
Additional demand: mf50: mf2      ponderacion de matriz mf2 al año 2014
Stopping criteria: iter= 100      bgap= 0.1000 %
                  rgap= 0.0000    ngap= 0.0500
Number of iterations: 98          stopped by: ngap

Select: 1= more iterations on old assignment
        2= new assignment
|
```

Figura 45. Nueva asignación

Se selecciona la segunda opción para partir de cero (figura 46):

```
Select: 1= more iterations on old assignment
        2= new assignment
        2

Select: 1= single class assignment on auto mode
        2= single class assignment with generalized cost
        3= multiclass assignment
        4= multiclass assignment with generalized cost
        5= generalized cost multiclass assignment with class specific volumes
        6= generalized cost multiclass assignment with path analysis
|
```

Figura 46. Tipos de asignación

En este proyecto no se va a evaluar el coste del transporte, luego se selecciona la primera opción (figura 47):

```
1

Select: Source for additional volumes
        1= no additional volumes
        2= auto equivalent of transit vehicles
        3= user data on links and turns
        4= transit vehicles and user data
        5= assign additional demand (additional options assignment)
|
```

Figura 47. Fuente de volúmenes adicionales

Pregunta sobre fuentes de volumen adicionales, se selecciona la quinta opción ya que se introducirán las matrices que hay en la base de datos (figura 48).

```

Demand in persons
Enter: Matrix=mf1
mf01: matriz      Matriz O-D Area Metropolitana Sevilla      (15-06-28 17:12)

Vehicle occupancy in persons/veh (optional)
Enter: Matrix=

Additional demand to be assigned to additional volumes
Enter: Matrix=mf50
mf50: mf2          ponderacion de matriz mf2 al año 2014      (15-06-28 17:27)

```

Figura 48. Introducción de matrices

La primera matriz que se introduce es la referente al número de personas que se van a desplazar en transporte privado. Es una matriz origen destino.

La segunda que pide es opcional, referente a la ocupación de personas por vehículo, no se introducirá nada.

En la tercera matriz que pide, como una matriz adicional, introduciremos la de tránsito de autobuses, que afectará a la congestión de las calles.

Después de esto aparece la siguiente pantalla, requiriendo fuente de atributos adicionales (figura 49):

```

Select: Source for additional attributes
1= link user data UL1
2= link user data UL2
3= link user data UL3
4= link length
5= none (no additional path attributes calculated)
6= link user data, length or extra link attribute
7= additional attributes on links and turns
|

```

Figura 49. Fuentes adicionales

En este caso se introducirá la opción número cinco, ninguna, ya que no se disponen de atributos adicionales.

Por último el programa da opción de modificar algunos parámetros como número de iteraciones. Se dejan por defecto 100, como se observa en la figura 50.

```
Enter: Max. number of iterations ( 100)=
Enter: Stopping criterion for best relative gap ( 0.1000 %) [, relative gap ( 0)]=
Enter: Stopping criterion for normalized gap (excess avg time)
( 0.0500 min)=|
```

Figura 50. Criterio paro de iteraciones

Hecho esto, se vuelve al menú principal (figura 51):

```
(Module 0.00 version 5948)
Licence E309:      ING-ORG..javd      GRUPO INGENIERIA DE ORGANIZACION
Database Title:   Estudio de trafico y autobuses TUSSAM Sevilla
Scen. 700(--- R-): Estudio de trafico y autobuses TUSSAM Sevilla
1.  U T I L I T I E S
2.  N E T W O R K   E D I T O R
3.  M A T R I X   E D I T O R
4.  F U N C T I O N   E D I T O R
5.  A S S I G N M E N T   P R O C E D U R E S
5.11 Prepare for standard traffic or transit assignment
5.21 Standard traffic assignment
5.22 Standard traffic assignment (parallel)
5.25 Path-based traffic assignment
5.31 Standard transit assignment
5.34 Prepare access/egress nodes for individual transit trips
5.35 Analyze / assign individual transit trips
5.36 Deterministic transit assignment
6.  R E S U L T S
9.  E N D   O F   S E S S I O N
Enter: Next module=|
```

Figura 51. Menú principal Prompt

Y para llevar a cabo las iteraciones se introduce el módulo 5.21, que corresponde a la asignación del tráfico (figura 52).

```
(Module 5.21 version 6997)
5.21 STANDARD TRAFFIC ASSIGNMENT

Select: List device
       1= Terminal
       2= Printer
       |
```

Figura 52. Ejecución iteraciones

Seguidamente se introduce la primera opción, terminal. Aparece entonces la siguiente pantalla (figura 53):

```

Emme  Module:  S.21      Date: 15-08-24 17:07      User: E309/ING-ORG..jvd
Database Title: Estudio de trafico y autobuses TUSSAM Sevilla
Scenario 700: Estudio de trafico y autobuses TUSSAM Sevilla
Matrix mf01: matriz      Matriz O-D Area Metropolitana Sevilla
-----
STANDARD TRAFFIC ASSIGNMENT
*****

Scenario:              700: Estudio de trafico y autobuses TUSSAM Sevilla
Network size:          183 centroids      1043 reg. nodes
                      3491 road links    3051 turn entries

Demand:                mf01: matriz      Matriz O-D Area Metropolitana Sevilla
Additional demand:     mf50: mf2        ponderacion de matriz mf2 al año 2014

Additional volumes:    additional demand assigned to active paths

Stopping criteria:     iter= 100      bgap=      0.1000 %
                      rgap=  0.0000    ngap=      0.0500

----- Iteration  0 -----

Number of trips:      Total persons:      86468.36
                      Total automobiles:  86468.36   Additional veh.:  0.00
                      Total vehicles:     86468.36   Not assigned:    502.00

Additional trips:     Tot. add. demand:  49999.98
                      Selected trips:      49999.98   Total assigned:  49999.98

Obj. function:        Initial value:    0.248158E+07

CPU time:             Subproblem:    0.1 ( 0.1)   Steplength:      0.0 ( 0.0)
                      Update:            0.0 ( 0.0)   Total:           0.2 ( 0.2)

----- Iteration  1 -----

Number of trips:      Total persons:      86468.36
                      Total automobiles:  86468.36   Additional veh.:  0.00
                      Total vehicles:     86468.36   Not assigned:    502.00

Search for lambda: L= 0.000000  0.062500  0.125000  0.250000  0.500000  1.000000
G=-.350E+07-0.301E+07-0.243E+07-0.637E+06 0.383E+07 0.127E+08
Appr. optimal lambda:0.290114 Estimated error: -0.002386

Fixed cost class 1:  Avg: 0.00 Sh. path: 0.00
Travel time class 1: Sh. path: 19.50

Avg trip times:      Currently on network:  60.18   On shortest paths:  19.50

-->

```

Figura 53. Primeras iteraciones

Se presiona la tecla enter para que el programa vaya efectuando más iteraciones, hasta llegar al máximo que se puso por defecto, 100.

Por último se vuelve a presionar enter y se llega al menú principal de la consola de *prompt*. Para salir de ella se introduce la opción número nueve, fin de la sesión.

Una vez realizada la simulación, para ver los resultados hay que acudir a la ventana situada en la izquierda de la interfaz principal del programa, llamada Worksheet / Table Explorer (figura 54).

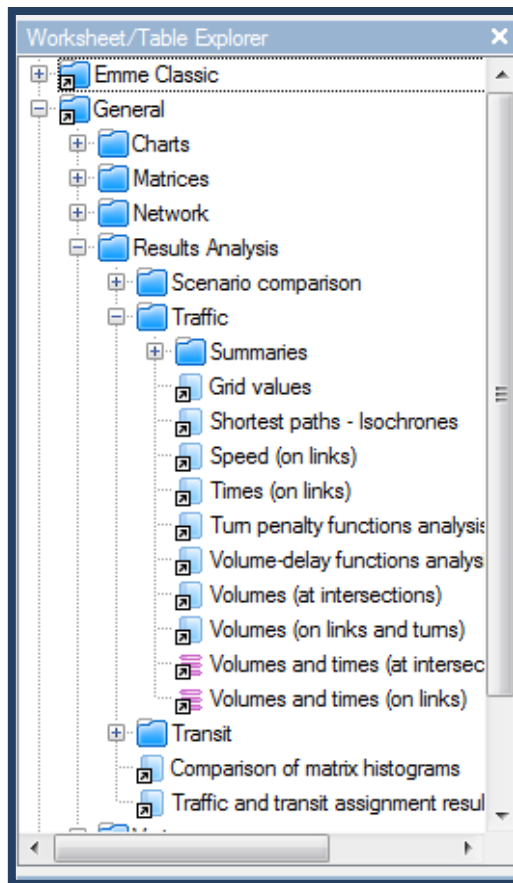


Figura 54. Worksheet / Table Explorer

Dentro de ella se accede a la carpeta Results Analysis, Traffic (en este caso) y aparecen distintas opciones de visualización de los resultados. Lo que interesa para este proyecto entra dentro de los volúmenes de tráfico en los links (calles).

Esta información puede visualizarse tanto en una tabla (figura 55) con el listado de todos los links y sus datos como gráficamente en el mapa (figura 56).

Traffic volume and times (on links)

Link filter: [road network no connectors] isAuto && not(isConnector)

From	To	Length	Modes	Type	Lanes	VDF	Time	Speed	AutoVol	AddVol	TotVol	VDT	VHT
212	209	0.07	cbp	1	2.0	10	0.52	8.01	1086	173	1258	76.00	9.49
212	211	0.07	cbp	1	2.0	10	0.32	13.02	878	245	1123	61.45	4.72
213	871	2.10	cbe	4	3.0	30	1.62	77.67	622	1150	1772	1305.95	16.81
213	30098	2.10	cbe	4	3.0	30	1.67	75.52	1484	939	2423	3116.67	41.27
214	218	0.19	cbph	1	1.0	1	0.70	16.36	310	201	511	58.88	3.60
215	1264	0.45	cbp	1	2.0	8	0.76	35.63	264	357	622	118.90	3.34
215	1268	0.49	cbp	1	1.0	8	2.34	12.56	402	65	468	197.22	15.70
215	2095	0.57	cbp	1	1.0	8	0.88	38.69	0	0	0	0.09	0.00
216	222	0.16	cbpeh	1	3.0	12	0.40	24.19	784	397	1182	125.52	5.19
216	984	0.46	cbpeh	1	3.0	12	0.80	34.48	1424	814	2239	655.26	19.01
218	216	0.20	cbp	1	1.0	1	0.72	16.59	310	201	511	61.97	3.73
218	220	0.15	cbph	1	1.0	1	0.50	18.00	0	0	0	0.00	0.00
220	222	0.28	cbp	1	1.0	1	0.78	21.67	117	93	210	32.75	1.51
222	216	0.16	cbpeh	1	3.0	12	0.40	23.97	1076	529	1604	172.10	7.18
222	226	0.47	cbpeh	1	3.0	12	0.78	36.24	788	400	1188	370.21	10.22
224	225	0.16	cbph	1	1.0	1	0.54	17.77	190	65	255	30.42	1.71
224	229	0.15	cbph	1	1.0	1	0.50	18.00	0	0	0	0.00	0.00
225	227	0.17	cbph	1	1.0	1	0.55	18.57	117	114	231	19.89	1.07
Min:		0.04		1	1.0	1	0.24	2.13	0	0	0		
Max:		6.91		4	5.0	30	42.95	85.56	5499	8451	10540		
Sum:		1145.2					2046.8					804786.0	25747.02
Avg:		0.46					0.82	33.30	651	429	1081		

Figura 55. Resultados en tabla



Figura 56. Resultados gráficos

En la visualización gráfica en el mapa aparecen sobre los links de la red líneas rojas que expresan la densidad en vehículos/hora. Cuanto mayor es la intensidad más anchura tienen estas líneas.

Si se coloca el cursor sobre una de estas líneas al lado de los links se puede ver la siguiente información (figura 57):

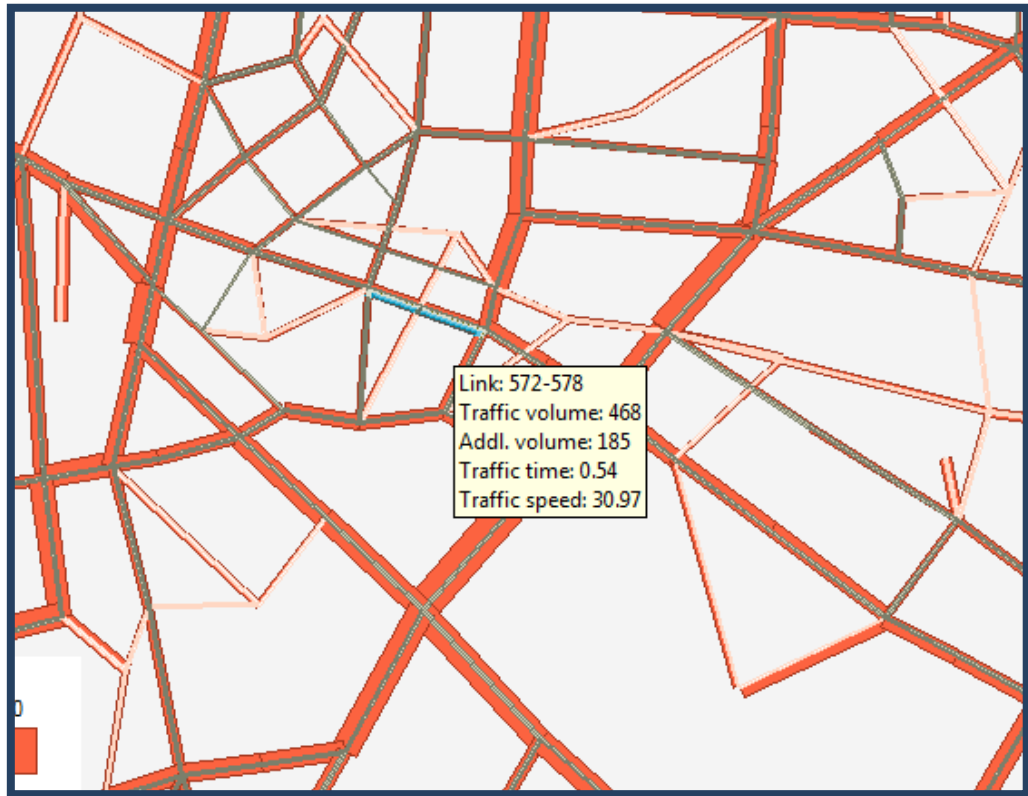


Figura 57. Información sobre la red

La imagen, a modo de ejemplo, hace referencia a un tramo de la avenida Ramón y Cajal. Muestra el volumen de tráfico para ese link (que expresa un solo sentido) junto a otros datos de tiempo y velocidades que no aportan para el objeto de este proyecto.

En este caso se puede ver que con la simulación realizada por ese tramo de la calle circularían una media de 468 vehículos por hora.

Para estimar la densidad o congestión de una calle entera con los resultados obtenidos en la simulación se ha hecho una media de sus tramos, ya que en la red del programa un tramo no tiene por qué corresponder con una calle entera, es decir, una calle puede estar formada por más de un tramo (link) con distintas densidades.

5. RESULTADOS

Como parte del objeto del proyecto cabe comparar los resultados obtenidos en el análisis anterior mediante el simulador *Emme 3* con la información que se dispone actualmente.

Haciendo un estudio sobre las fuentes de información actuales más fiables sobre estos datos se obtiene de la página del ayuntamiento de Sevilla (trafico.sevilla.org) información del año 2014 que sirve para tener una referencia.

En la siguiente tabla se muestra el listado de calles que se analizan en la web trafico.sevilla.org, comparando las intensidades según esta fuente (segunda columna) con los resultados dados en la simulación (tercera columna). Hay que aclarar que de algunas calles no se dispone de información en la página web. La cuarta columna muestra la desviación en cada caso y la última en tanto por ciento sobre el dato de simulación.

Cada calle cuenta con dos datos de intensidades, correspondientes a cada uno de los sentidos de la misma. Las cantidades están en vehículos por hora.

Calle	Media web	Media Emme 3	Diferencia	Porcentaje desviación %
Palmera entrada	921	591	-330	55,8
Palmera salida	868	569	-299	52,5
Ramón y Cajal entrada	404	350	-54	15,4
Ramón y Cajal salida	479	496	17	3,4
Luis montoto entrada	874	599	-275	45,9
Luis montoto salida	695	869	174	20,0
Kansas City entrada	748	1377	629	45,7
Kansas City salida	729	1191	462	38,8
Cristo de la Expiración entrada	1194	1351	157	11,6
Cristo de la Expiración salida	1110	650	-460	70,8
Virgen de Luján Sur-norte	441	225	-216	96,0
Virgen de Luján Norte-Sur	426	716	290	40,5
Paseo Colón Norte-Sur	767	1546	779	50,4
Paseo Colón Sur-Norte	991	1756	765	43,6
Avenida del Greco Norte-Sur	282	833	551	66,1
Avenida del Greco Sur-Norte	-	950	-	-
Avenida de la Borbolla Norte-Sur	340	1337	997	74,6
Avenida de la Borbolla Sur-Norte	-	537	-	-
Eduardo Dato entrada	-	610	-	-
Eduardo Dato salida	303	453	150	33,1
Calle Doctor Fedriani entrada	522	315	-207	65,7
Calle Doctor Fredriani salida	481	552	71	12,9
Avenida Flota de Indias entrada	-	2107	-	-
Avenida Flota de Indias salida	-	755	-	-

Ronda de Triana Norte-Sur	281	555	274	49,4
Ronda de Triana Sur-Norte	301	711	410	57,7
Avenida Miraflores	-	1041	-	-
Carretera de Carmona Sur-Norte	-	1062	-	-
Carretera de Carmona Norte-Sur	-	631	-	-
Avenida de la Paz entrada	710	1123	413	36,8
Avenida de la Paz salida	662	877	215	24,5
Puente de las Delicias entrada	870	2419	1549	64,0
Puente de las Delicias salida	843	1725	882	51,1
Buhaira Norte-Sur	312	569	257	45,2
Buhaira Sur-Norte	349	1105	756	68,4
Torneo Norte-Sur	784	853	69	8,1
Torneo Sur-Norte	903	1122	219	19,5
J.M. Moreno Galván Norte-Sur	364	344	-20	5,8
J.M. Moreno Galván Sur-Norte	393	1100	707	64,3
Calle Felipe II Oeste-Este	341	465	124	26,7
Calle Felipe II Este-Oeste	-	603	-	-
Avenida Montes Sierra Oeste-Este	-	900	-	-
Avenida Montes Sierra Este-Oeste	-	1018	-	-
Avenida de las Ciencias Norte-Sur	-	1229	-	-
Avenida de las Ciencias Sur-Norte	-	1539	-	-
Calle Secoya Sur-Norte	-	820	-	-
Calle Secoya Norte-Sur	-	743	-	-
Ronda Pio XII Este-Oeste	-	1180	-	-
Calle Torcuato Luca de Tena Oeste-Este	-	506	-	-
Calle Torcuato Luca de Tena Este-Oeste	-	607	-	-
Calle Cardenal Ilundain Oeste-Este	-	506	-	-
Calle Cardenal Ilundain Este-Oeste	-	667	-	-
Avenida Menéndez Pelayo S-N	692	822	130	15,8
Avenida Menéndez Pelayo N-S	626	1700	1074	63,2
Avenida Séneca Oeste-Este	-	646	-	-
Avenida Séneca Este-Oeste	-	748	-	-

Desviación media total: **301 veh/hora**.

El análisis de estas calles se va a efectuar utilizando la misma división por zonas que se ha utilizado para la actualización del viario. Para ello se comentará la comparación de algunas calles significativas de cada zona.

5.1. Resultados en zona 1

En esta zona las principales diferencias son:

Cristo de la Expiración: Como se puede observar en los datos de la tabla se mantiene el orden de magnitud de la intensidad de tráfico por esta avenida en sentido este-oeste (entrada-salida), mientras que en la simulación se ve disminuido en sentido contrario, de oeste a este.

Virgen de Luján: En esta calle se aprecia que la intensidad de tráfico se mantiene constante en el total de la calle pero difiere ligeramente en cada sentido. En la simulación se presenta mayor densidad en sentido norte-sur y menor en sentido sur-norte respecto a los datos de la web.

Avenida Flota de Indias: De esta avenida no se disponen datos de la web pese a ser mencionada. Con la simulación se puede observar que la congestión es bastante mayor en sentido de entrada-salida (este-oeste) que en el sentido contrario (oeste-este).

Ronda de Triana: En este sector se ve incrementada la densidad en la simulación realizada, para ambos sentidos.

5.2. Resultados en zona 2

En esta zona los resultados son:

Luis Montoto: En esta avenida la congestión total se corresponde con la simulación, ya que para un sentido aumenta pero para el otro disminuye, aproximadamente, en la misma magnitud.

Paseo Cristóbal Colón: Se aprecia que en la simulación se produce un mayor tránsito en sentido norte-sur respecto a los datos del ayuntamiento.

Avenida de la Borbolla: Para esta avenida, igualmente, se observa un incremento en la simulación de la intensidad en sentido Norte-Sur, mientras que en sentido contrario, Sur-Norte, no se disponen de datos de la web. En la simulación se estima una media de unos 500 vehículos por hora.

Eduardo Dato: Para esta calle la simulación resulta bastante fiel a los datos de la web, aunque en sentido salida de la calle no se tienen datos con los que comparar.

Avenida de la Buhaira: En la simulación se produce un incremento de la congestión en esta avenida, especialmente en sentido sur-norte.

Felipe II: En esta calle las cifras de intensidad de mantienen en el mismo orden.

Menéndez Pelayo: Aumento considerable de la congestión en la simulación respecto a los datos de la web en sentido norte-sur.

5.3. Resultados en zona 3

Los comentarios sobre la comparación en esta zona son:

Paseo de la Palmera: Esta avenida es uno de los pocos casos en los que en la simulación aparece algo menos de intensidad que en los datos con los que se compara.

Avenida de la Paz: Siguiendo la tendencia, en la simulación resulta más intensidad que en los datos, concretamente en sentido entrada-salida de la avenida.

Puente de las Delicias: Es uno de los tramos en los que más se congestiona en la simulación para ambos sentidos, sobrepasando en gran medida los datos del ayuntamiento de 2015.

Torcuato Luca de Tena: A pesar de estar en la lista, no se disponen de datos para realizar una comparación. La simulación en Emme estima una intensidad de tráfico de unos 500 vehículos por hora.

5.4. Resultados zona 4

En esta zona los resultados son:

Avenida Ramón y Cajal: Para esta avenida obtenemos resultados muy parecidos a los datos de los que disponemos.

Calle Cardenal Ilundain: No se disponen de datos de referencia. Con la simulación obtenemos una intensidad de tráfico de la misma magnitud en cada sentido.

5.5. Resultados zona 5

Para la zona 5 se tiene:

Avenida Miraflores: Sin datos del ayuntamiento, el simulador nos da una congestión elevada para esta avenida, sobrepasando los 1000 vehículos por hora.

Carretera de Carmona: Igualmente sin referencia para comparar, muestra en la simulación alta intensidad de tráfico, en mayor medida en el sentido sur-norte.

Avenida José María Moreno Galván: En esta avenida el desvío se produce en el sentido sur-norte, siendo más alto en la simulación.

5.6. Resultados en zona 6

En esta zona obtenemos:

Calle Doctor Fedriani: Se produce una diferencia sensible en la simulación en el sentido entrada-salida de la calle, incrementándose el resultado de intensidad en la simulación.

Torneo: En torneo nuevamente los valores de las intensidades se muestran más altos en la simulación que en los datos.

5.7. Resultados en zonas 7 y 8

En estas zonas se cuentan con menos calles incluidas en la selección de la lista del ayuntamiento.

Avenida de Ronda de Pío XII: Sin datos en la web, en la simulación aparece una congestión elevada en esta avenida, superando los 1000 vehículos por hora.

5.8. Resultados en zona 9

Para esta zona obtenemos

Kansas City: en esta avenida se ve incrementado el número de vehículos en ambos sentidos de manera similar.

Avenida del Greco: En esta avenida, en sentido norte-sur se ve incrementada la intensidad en la simulación. En sentido contrario no se cuenta con datos para comparar.

Avenida Montes Sierra: En la simulación se muestra como una avenida con alta intensidad de tráfico.

Avenida de las Ciencias: Muestra gran intensidad de circulación, especialmente en el sentido hacia el norte.

Calle Secoya: Intensidad del mismo orden para ambos sentidos.

Avenida Séneca: Igualmente se mantiene en la misma magnitud el tráfico en ambos sentidos en la simulación.

6. CONCLUSIONES Y LÍNEA FUTURA

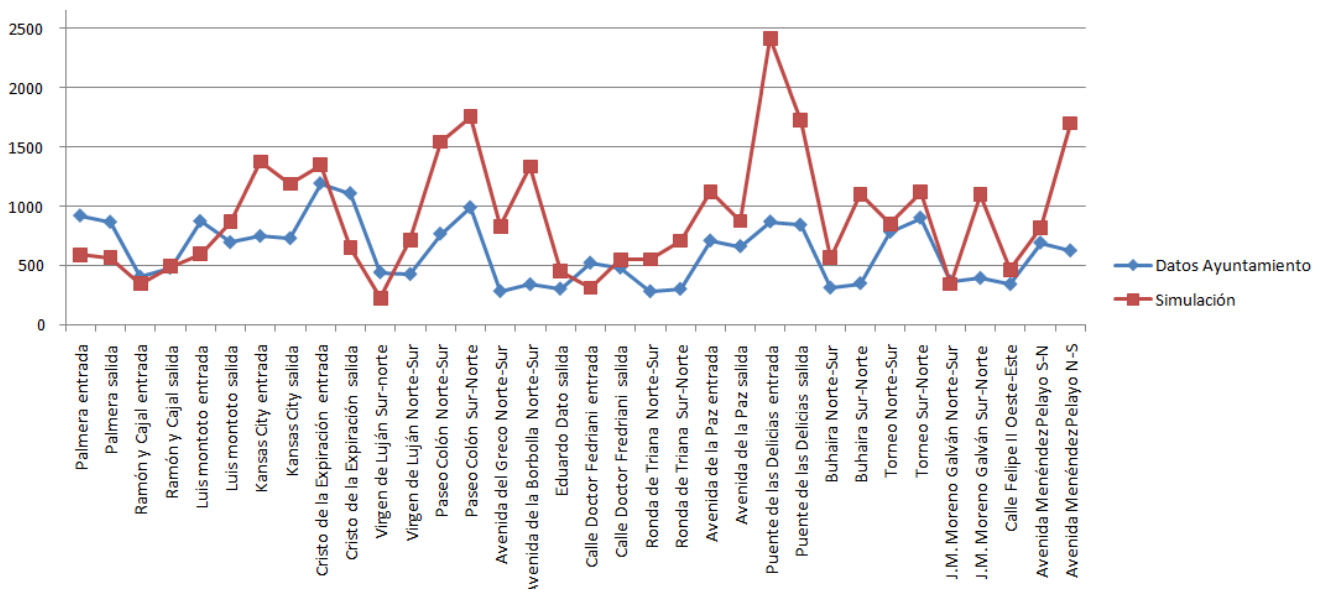
6.1. Cálculo de errores

Como se puede observar, los datos obtenidos con la simulación en el software no siempre coinciden con los datos aportados por el ayuntamiento en cuanto a intensidad de tráfico en ese muestrario de calles. Esto se debe a diversos factores. Pese a que en el programa se ha modelado toda la red y su distinta configuración para cada calle, no se ha tomado en cuenta semáforos y factores similares que alteran las congestiones en la ciudad. Los resultados en la simulación dependen igualmente de las matrices origen-destino, que determinan el número de personas interesadas en hacer un desplazamiento de una zona determinada a otra. Estos datos son difíciles de obtener de una manera totalmente fiel a la realidad.

Teniendo en cuenta las calles con datos que aparecen en la lista del ayuntamiento, la media total del error es de 301 vehículos por hora de incremento en la simulación. Esto muestra que en las simulaciones predomina el incremento en volumen de tráfico frente a los datos.

Tomando el error medio de las muestras en valor absoluto obtenemos una desviación de 411, es decir, el simulador se desvía de media, respecto a los datos, esa cantidad de vehículos por hora. Estas cantidades son medias del tráfico en un día, se entiende que habrá franjas horarias en las que el tráfico sea superior y en otras sea inferior.

En el siguiente cuadro podemos observar gráficamente la diferencia entre los resultados obtenidos. Como se puede ver, a pesar de no coincidir exactamente los valores, las proporciones se mantienen para las distintas calles, reflejando por cuáles hay más flujo de tráfico y hacia qué sentido.



Se puede observar que existen en la gráfica dos puntos más aislados que se pueden catalogar como excepciones en la tendencia. Corresponden al flujo de tráfico del Puente de las Delicias. Si no se tuviera en cuenta esta avenida el error medio total se vería disminuido a 244 y la media de los errores absolutos a 360 vehículos por hora.

6.2. Línea futura

Mediante la realización de este proyecto se tiene, principalmente, una red actualizada implementada en un software de simulación de tráfico como es el *Emme3*, de la ciudad de Sevilla, España. Esto hace capaz la simulación y análisis de distintos escenarios sobre la ciudad para obtener estimaciones en cuanto a tráfico, obteniendo datos diversos entre los que se engloban tiempos de desplazamiento, velocidades, costes, etc.

Cabe destacar que cuanto más fiables sean los datos introducidos, (matrices origen destino), más realistas serán los resultados obtenidos. Sería de relevancia también la introducción del modelado de los semáforos en las intersecciones, ya que las diferencias entre las simulaciones y la realidad disminuirían considerablemente al tenerlos en cuenta.

Por tanto, contando con una robusta toma de datos en cuanto a número de desplazamientos y personas, así como un completo modelado de los semáforos y sistemas de intersecciones se tendría un completo sistema de simulación y análisis del transporte urbano en Sevilla, aplicable a distintos sectores e intereses.

Principalmente, una gran ventaja de usar este tipo de simulaciones consiste en tener datos estimados en poco tiempo que serían difíciles de obtener o medir físicamente. Con estos datos es posible la evaluación de mejoras en el viario de la ciudad, ahorrando tiempo, dinero e incluso disminuyendo la contaminación en el entorno. Este proyecto es, por tanto, una base para implementar mejoras en este ámbito, así como consultar o prever cómo podría afectar algún cambio importante que se quiera llevar a cabo en la ciudad y que altere la red de transporte.

7. BIBLIOGRAFÍA

Ayuntamiento de Sevilla, Nodo. <http://trafico.sevilla.org/> . Julio 2015.

Emme Desktop Reference. INRO. 2008.

Emme Users' Guide. INRO. 2008.

Muñuzuri, J. *Estudio de alternativas de ordenación del tráfico en el entorno de la plaza de Cuba, en Sevilla*. Proyecto Final de Carrera. Universidad de Sevilla. Enero 1998.

Open Street Map España. <http://www.openstreetmap.es/> . Febrero 2015