

SIG DISTRIBUIDO PARA LA DIFUSIÓN VÍA INTERNET DE INFORMACIÓN DE ACCIDENTALIDAD, AFORO VEHICULAR Y ESTADO SUPERFICIAL DE CARRETERAS

N. Villegas & A. Mendoza
Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, México
villegas@imt.mx, mendoza@imt.mx

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es contar con un Sistema de Información Geográfica (SIG) Distribuido para la difusión de información de accidentalidad, aforo vehicular y estado físico de Carreteras Federales segmentadas a cada 500 m a través de Internet. En primer lugar, los procedimientos automatizados de segmentación dinámica fueron aplicados a información georreferenciada de la Red Carretera Federal, a fin de generar los segmentos de 500 m con claves numéricas de toda la red de carreteras. Después, los algoritmos de programación fueron elaborados para vincular la información de accidentalidad, aforo vehicular y estado superficial de la vía con los segmentos de 500 m. Posteriormente, la representación geográfica fue elaborada mediante herramientas que implementan estándares para la difusión de datos geoespaciales vía Internet, como Google Maps que facilita la visualización del entorno de la red vial carretera y de los segmentos representados con colores diferentes, de acuerdo al número de accidentes de tránsito ocurridos en el segmento, el aforo vehicular registrado o el estado físico de la superficie de rodamiento; la información es mostrada en un recuadro al hacer clic sobre cualquier segmento. De esta forma los resultados generados con el sistema son mostrados para algunas carreteras mexicanas importantes.

1. APLICACIÓN DE SEGMENTACIÓN DINÁMICA EN DATOS GEOESPACIALES

Los procedimientos de segmentación dinámica aplicados a información georreferenciada de la Red Carretera Federal [1], fueron realizados mediante el software comercial para estaciones de trabajo ArcInfo, desarrollado por ESRI (Environmental Systems Research Institute) que automatiza, manipula, analiza y despliega datos espaciales en forma digital.

La segmentación dinámica es el proceso de transformar datos referenciados linealmente (también conocidos como eventos) que han sido almacenados en una tabla como características que pueden ser desplegadas y analizadas en un mapa. Cada evento en una tabla de eventos debe incluir un identificador y posición únicos a través de la línea. Y cada línea debe tener un identificador y tamaño únicos [2].

Los procedimientos de segmentación dinámica hicieron posible la división y clasificación numérica de una amplia red de carreteras en segmentos de una determinada longitud, en este caso de 500 m. Posteriormente, los algoritmos de programación vinculan la información contenida en las Bases de Datos con los segmentos de 500 m a través de claves numéricas. Lo anterior, facilitó la visualización de datos geográficos y su caracterización vía Internet. A continuación se describen los procedimientos de segmentación dinámica aplicados a elementos lineales.

1.1. Creación de “cobertura” y corrección de topología

Inicialmente, la información georreferenciada de la Red Carretera Federal estaba clasificada en tramos de carretera con un identificador numérico (id_unico) formado por

dos dígitos para el estado, cinco para la carretera y dos para el número de tramo, la cual estaba almacenada en archivos "shape" (formato de almacenamiento de datos del software ArcView) por Entidad Federativa. En esta etapa, el archivo "shape" de la Entidad Federativa (p. ej. Querétaro en este caso) fue seleccionado para aplicar procedimientos de segmentación dinámica; cada línea en el archivo representaba un tramo de una carretera con su id_unico correspondiente.

Como primer paso, el comando "shapearc" fue aplicado al "shape" para crear una "cobertura", es decir, una ubicación lógicamente organizada de elementos geográficos similares y sus datos descriptivos asociados en ArcInfo, los parámetros del comando son el archivo "fqro.shp" y el nombre de la "cobertura" que también se denomina "fqro", después el comando "build" fue aplicado a la "cobertura" para construir su topología. Fue necesario editar la "cobertura" en el módulo ArcEdit para corregir manualmente los errores o "dangles", es decir los casos en que un final de arco no está conectado a otro arco, a fin de darle continuidad a la red. Los comandos usados para realizar lo anterior fueron los siguientes:

```
Arc: shapearc fqro fqro
Arc: build fqro
Ae: nodecolor dangle 3
Ae: de node dangle
```

1.2. Creación del sistema de rutas y segmentación dinámica

Como siguiente paso, las rutas del Estado (p. ej. Querétaro en este caso) fueron creadas en ArcInfo mediante el comando "arcroute", que toma como parámetro la "cobertura", el nombre del sistema de rutas (tramos) y el id_unico de cada tramo de carretera. Además, los posibles errores en las rutas fueron corregidos manualmente mediante comandos de ArcEdit.

```
Arc: arcroute fqro tramos id_unico id_unico
Ae: de route.tramos measureerrors
Ae: de route.tramos routeerrors
```

Posteriormente, los kilómetros reales fueron reasignados en todas las rutas, mediante un archivo AML (Arc Macro Language), lenguaje de programación de ArcInfo, este archivo contiene la edición de las características de rutas mediante el comando "ef", y para cada una de las rutas, la selección del identificador numérico de la ruta, así como el comando "remeasure" para la asignación del kilómetro (km) inicial y final de la misma.

```
Ae: ef routes.tramos
Ae: sel id_unico=220042301
Ae: remeasure 0 104.7
```

En algunos casos fue necesario cambiar el sentido de las rutas mediante el comando "flip" de ArcEdit, a fin de que el inicio del cadenamamiento fuera en el sitio correcto. Posteriormente, el archivo de eventos para todas las carreteras fue generado en formato dBASE y en ArcInfo el comando "dbaseinfo" fue aplicado a dicho archivo de eventos. En el archivo de eventos ("qro_seg" para el ejemplo de Querétaro) cada registro corresponde a un segmento de 500 m, por tanto, la cantidad de registros o eventos por carretera dependerá de la longitud de la misma, y los campos principales que contiene son el id_unico, el identificador de segmento (id_seg), el km inicial (seg_de) y final del mismo (seg_a), entre otros. El ejemplo de la Tabla 1 muestra sólo algunos registros del archivo

mencionado, donde el primer registro o segmento de 500 m de la entidad 22, carretera 00411, corresponde del kilómetro 145+800 al 146+300.

Tabla 1 - Algunos registros del archivo de eventos

Id_unico	Id_tramo	Nom_tramo	Id_seg	Seg_de	Seg_a	L_inf	L_sup
220041109	09	LIM. EDOS. MEX./QRO. - CASETA "PALMILLAS"	220041109001	145.80	146.30	411145800	411146300
220041109	09	LIM. EDOS. MEX./QRO. - CASETA "PALMILLAS"	220041109002	146.30	146.80	411146300	411146800
220041109	09	LIM. EDOS. MEX./QRO. - CASETA "PALMILLAS"	220041109003	146.80	147.30	411146800	411147300
220041109	09	LIM. EDOS. MEX./QRO. - CASETA "PALMILLAS"	220041109004	147.30	147.80	411147300	411147800
220041109	09	LIM. EDOS. MEX./QRO. - CASETA "PALMILLAS"	220041109005	147.80	148.30	411147800	411148300

Arc: dbaseinfo qro_seg qro_seg

Después, fue necesario establecer en ArcInfo el archivo que contenía los eventos o segmentos de 500 m que integraban cada ruta, mediante el comando "eventsource". Finalmente, la segmentación de rutas a cada 500 m fue realizada mediante el comando "eventarc".

Arc: eventsource add_linear qro_seg qro_seg info ordered id_unico id_unico seg_de seg_a

Arc: eventarc fqro tramos qro_seg qro_seg500

En la "cobertura" generada con el comando "eventarc", la cual se denominó "qro_seg500", el número de arcos es igual al número de registros en la tabla de eventos. La Figura 1 es un ejemplo de la relación de la tabla de eventos con cada segmento de 500 m, en este caso el identificador de segmento (id_seg) está formado por dos dígitos para la Entidad Federativa (22), cinco para la carretera (00411), dos para el número de tramo (10) y tres para el número de segmento (001...003).

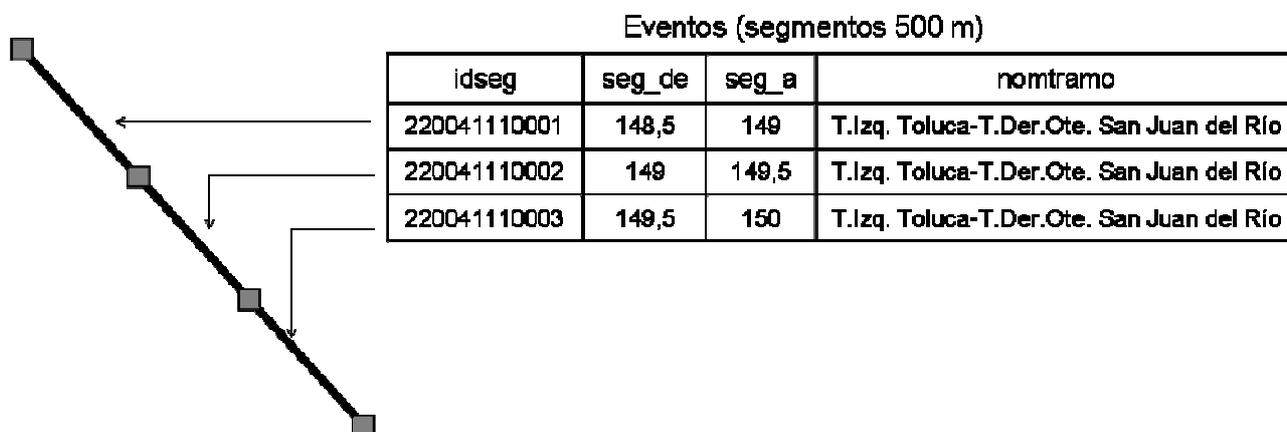


Figura 1 - Representación de eventos en elementos lineales

2. VINCULACIÓN DE SEGMENTOS Y TRAMOS CON BASES DE DATOS

En esta etapa, la Base de Datos de accidentes de tránsito fue vinculada a los segmentos de 500 m, asimismo, la información de aforo vehicular y estado superficial de la vía fue integrada a los tramos de la Red Carretera Federal. Lo anterior fue realizado mediante algoritmos de programación en el software Microsoft Visual FoxPro. Los algoritmos vinculan la información con su correspondiente identificador de segmento o tramo de carretera. A continuación, los procedimientos para vincular los accidentes de tránsito, aforo vehicular y estado superficial de la vía son descritos brevemente.

2.1. Integración de Base de datos de accidentes de tránsito con segmentos de 500 m

La Policía Federal de la Secretaría de Seguridad Pública provee los reportes de los accidentes de tránsito registrados en la Red Carretera Federal. Los accidentes fueron vinculados a los segmentos mediante la asignación de un identificador de segmento a cada registro de la Base de Datos de accidentes, este proceso fue realizado con el algoritmo de programación "asigna_id_segmento.prg". El algoritmo asigna a cada registro de accidente su identificador de segmento de 500 m correspondiente, de acuerdo al identificador de carretera (idcarr) y el kilómetro exacto donde ocurrió el incidente. La Figura 2 muestra en forma tabular la vinculación de los registros de accidentes de tránsito con la tabla de eventos o segmentos de 500 m. La Figura 3 muestra en forma gráfica la misma relación.

Accidentes				Eventos (segmentos 500 m)			
Idaccid	km	idcarr	idseg	idseg	seg_de	seg_a	nomtramo
D01-10097	148,7	00411	220041110001	220041110001	148,5	149	T.Izq. Toluca-T.Der.Ote. SJR
D01-11297	148,9	00411	220041110001	220041110002	149	149,5	T.Izq. Toluca-T.Der.Ote. SJR
D01-13197	149,9	00411	220041110003	220041110003	149,5	150	T.Izq. Toluca-T.Der.Ote. SJR

Figura 2 - Relación de registros de accidentes de tránsito con los segmentos

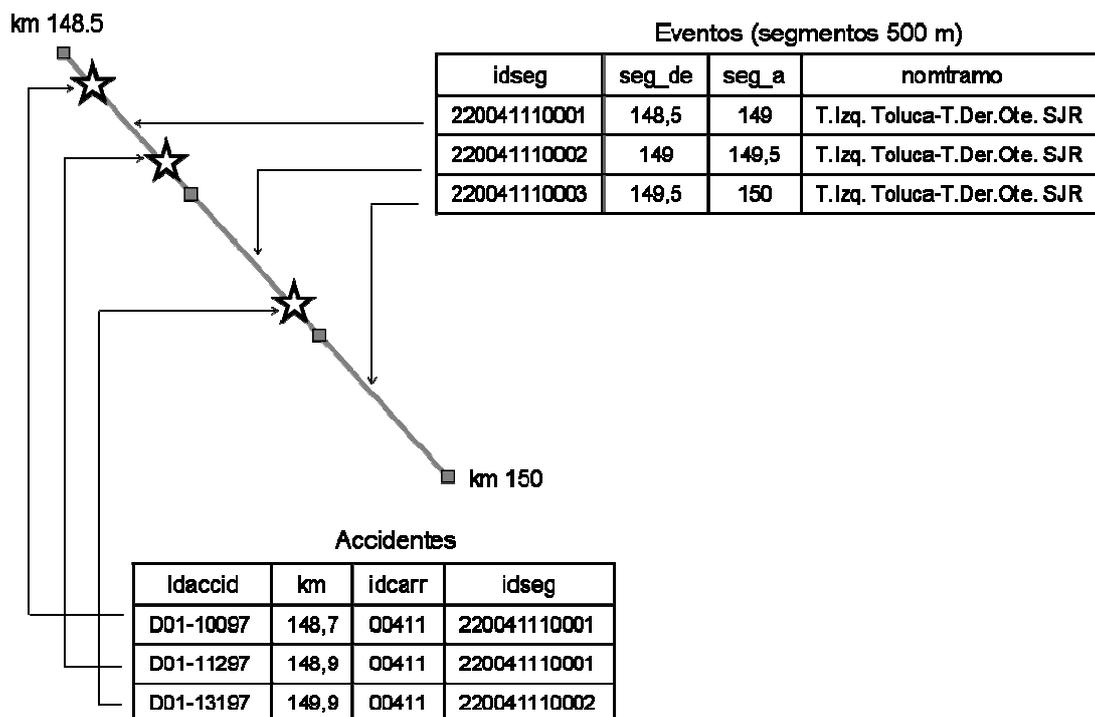


Figura 3 - Relación entre los accidentes y los segmentos

2.2. Integración de Base de Datos de aforo vehicular con tramos de carretera

La Dirección General de Servicios Técnicos (DGST) de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes provee la Base de Datos de aforo vehicular. En esta etapa son necesarias dos Bases de Datos, una de tramos de carretera con id_unico, y la otra de aforo vehicular. La información de esta última es asignada a la de tramos de carretera mediante procedimientos descritos a continuación.

Como primer paso, una clave numérica "cartram" fue asignada a cada registro de la Base de Datos con aforos vehiculares, formada por el identificador de carretera y un número de tramo consecutivo, que inicia en uno, incrementa y finaliza con el total de tramos que

forman cada carretera. Posteriormente, el Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) en tramos con el mismo nombre y sentido de circulación 1 y 2 es sumado. Para el resto de los TDPA la cantidad pasa igual a un nuevo campo.

Por otra parte, en cada registro de la Base de Datos de tramos de carretera con identificador numérico fue asignado un origen y un destino, es decir, la clave numérica "carrtram" tanto origen como destino que le corresponde según el nombre de tramo y el kilómetro inicial y final, a fin de vincular la información. Al mismo tiempo, el sentido de circulación fue verificado antes de asignar dicha clave, esto debido a que la información de aforos vehiculares inicializa la mayoría de las vías con un kilómetro inicial igual a cero, mientras que la de tramos sí considera el kilómetro real de inicio y fin de cada tramo.

Finalmente, el algoritmo de programación "vincula_aforos.prg" vincula la clave origen y destino de la Base de Datos de tramos con el campo "carrtram" de aforo vehicular y calcula promedios por configuración vehicular.

2.3. Integración de Base de Datos del estado superficial de la vía con tramos de carretera

La Dirección General de Conservación de Carreteras (DGCC) provee la Base de Datos del estado de la superficie de rodamiento, la cual contiene mediciones del Índice Internacional de Rugosidad (IRI, por sus siglas en inglés) por kilómetro para las Carreteras Federales Libres. La integración de información del estado superficial de la vía a la Base de Datos de tramos, requiere del algoritmo de programación "vincula_iri.prg". Es necesario asignar previamente un identificador numérico de carretera a la Base de Datos con el estado superficial de la vía, para vincular y asignar promedios en la Base de Datos de tramos conforme al identificador de carretera y el kilómetro inicial y final de cada tramo.

3. REPRESENTACIÓN DE INFORMACIÓN GEOESPACIAL VÍA INTERNET

Actualmente los SIG son objeto de estudio de innumerables artículos y temas de investigación, por una parte debido a la posibilidad de tener acceso a mapas e información de Bases de Datos a través de Internet, y por otro lado a las ventajas de uso y manejo de la información generada de estos mismos. Dado el surgimiento de software libre, especificaciones para implementación de estándares en SIG Distribuidos y la existencia de herramientas convencionales para acceso a Bases de Datos, es posible desplegar información geográfica de Carreteras Federales y su caracterización en un navegador Web.

Específicamente, un SIG Distribuido es simplemente tecnología SIG que se ha construido y desplegado usando los estándares y software de Internet [3].

Actualmente, los servicios de SIG en Internet facilitan el uso de información geoespacial desde su origen, sin la necesidad de tener localmente toda la información. Los avances en las tecnologías de la información, estándares de sistemas abiertos, redes de comunicación con mayor velocidad y el acceso a Internet, ofrecen mayores ventajas de uso y distribución de la información geográfica, así como también limitaciones en el intercambio de datos.

El acceso de datos en línea permite a usuarios de SIG, que tienen software de SIG instalado en sus máquinas locales, el acceso y transmisión de datos. Este método es eficiente sólo para el acceso a los datos, pero la capacidad del usuario para ver y analizar datos de Internet se ve limitada por su software SIG de escritorio. La posibilidad de

acceder a las funciones de análisis SIG y realizar análisis SIG en cualquier lugar a través de Internet es el siguiente paso importante. El marco principal del procesamiento SIG en línea está todavía en desarrollo y estará disponible muy pronto para proporcionar un verdadero SIG en Internet o Servicio de SIG distribuido [4].

En virtud de lo anterior, este trabajo representa un esfuerzo inicial por contar con un SIG Distribuido, que por ahora cuenta con capacidad de diseminación de información geoespacial vía Internet, y que toma como base los procedimientos automatizados de segmentación dinámica, los cuales posibilitan la identificación puntual y manipulación de información geoespacial de segmentos de 500 m de una amplia red de carreteras, asimismo, los algoritmos de programación para automatizar la vinculación de dichos segmentos con información de accidentes de tránsito, aforo vehicular y estado superficial de la vía, cuyo contenido cambia año con año.

La representación de información geoespacial fue realizada mediante dos procedimientos, el primero mediante la herramienta comercial SVGMapper, disponible en Internet, y el segundo a través de Google Maps, visualizador gratuito de mapas. Con ambas herramientas se elabora la representación por tramos de carretera a fin de que el proceso de visualización de datos en el navegador de Internet sea más rápido. A continuación ambos procedimientos son detallados.

3.1. Representación de información geoespacial vía Internet mediante SVGMapper

La representación geográfica de elementos lineales inicia a partir del contenido de un archivo "shape" en el software ArcView, con el cual es generado un archivo HTML mediante la extensión SVGMapper, el cual contiene el mapa con la información lineal y atributos de las Carreteras Federales, así como la referencia a una serie de archivos con código XML, SVG y JavaScript. El archivo "shape" es generado con el proceso de segmentación dinámica descrito anteriormente.

Una vez generado el archivo HTML, el usuario visualiza en el mapa, a través de un navegador de Internet, aquellos arcos que tienen un menor o mayor número de accidentes, por ejemplo la Figura 4 muestra, en este caso para las Carreteras Federales en el entorno de la Ciudad de Monterrey en el Estado de Nuevo León, que la gran mayoría están representados por el color azul, lo cual indica la ocurrencia de 1 a 3 accidentes en dichos arcos, por otra parte, en un intervalo de 4 a 6 los arcos en color verde y finalmente, en mayor cantidad, los arcos que presentaron de 7 a 9 accidentes en color rojo. Además de que el usuario puede hacer un "zoom" o acercamiento a los elementos del mapa, así como seleccionar un determinado segmento y visualizar en un recuadro los atributos de dicho arco, tales como nombre de tramo al que corresponde el segmento de 500 m, km inicial, km final, identificador del segmento, número de accidentes, entre otros.

De esta forma el usuario consulta un mapa interactivo con información detallada de la ubicación del accidente, lo cual facilita la identificación por estado de aquellos segmentos con un alto índice de accidentes de tránsito.

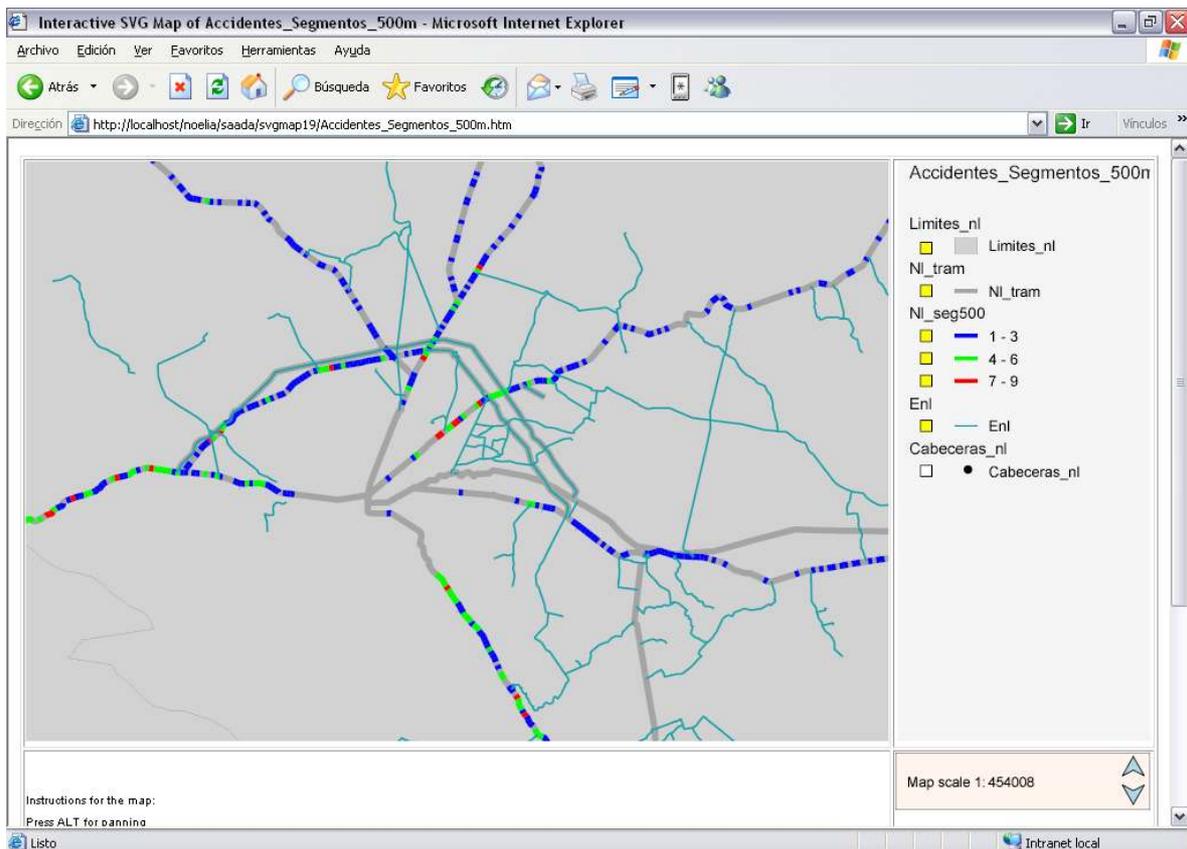


Figura 4 - Representación geográfica de los accidentes en las carreteras en el entorno de la Ciudad de Monterrey mediante SVGMapper

3.2. Representación de información geoespacial vía Internet mediante Google Maps

La representación geográfica a través de Google Maps fue realizada a partir de un archivo "shape". Primero, el ancho y tipo de línea del "shape" son definidos mediante el software gratuito MapWindow GIS, y con la extensión "shape2earth" es convertido a formato KML. Después, en Google Maps es generado un mapa con el archivo KML. Finalmente, el vínculo del mapa es insertado en un archivo HTML, a fin de visualizarlo en una página Web, mediante un Navegador de Internet. La Figura 5 ilustra la representación geográfica de un tramo de la carretera México-Toluca.

Google Maps facilita la visualización del entorno de Carreteras Federales, así como de los segmentos de 500 m representados con cuatro colores diferentes, de acuerdo al número de accidentes ocurridos en el segmento, siendo los de color rojo aquellos que presentan el mayor número de accidentes de tránsito, la información del número de accidentes es mostrada en un recuadro al hacer clic sobre cualquier segmento. Los mapas son realizados por tramos de carretera, de esta forma el navegador de Internet realiza el proceso de visualización de datos sin mayores problemas. A medida que aumenta la cantidad de información geoespacial el proceso de visualización de datos es más lento.

La Figura 6 ilustra el Ramal Cd. Hidalgo en el Estado de Chiapas, con los segmentos de 500 m representados con tres colores diferentes, de acuerdo al IRI registrado en el segmento; siendo los de color amarillo los que presentan un IRI de menor a 3, los de color azul con un IRI entre 3 y 5, y los de color rojo con un IRI mayor a 5.

Finalmente, la Figura 7 ilustra la carretera México-Querétaro con los segmentos de 500 m representados con tres colores diferentes, de acuerdo al aforo vehicular que presenta el

segmento; siendo los de color rojo aquellos que registran un mayor TDPA (más de 50000 vehículos).

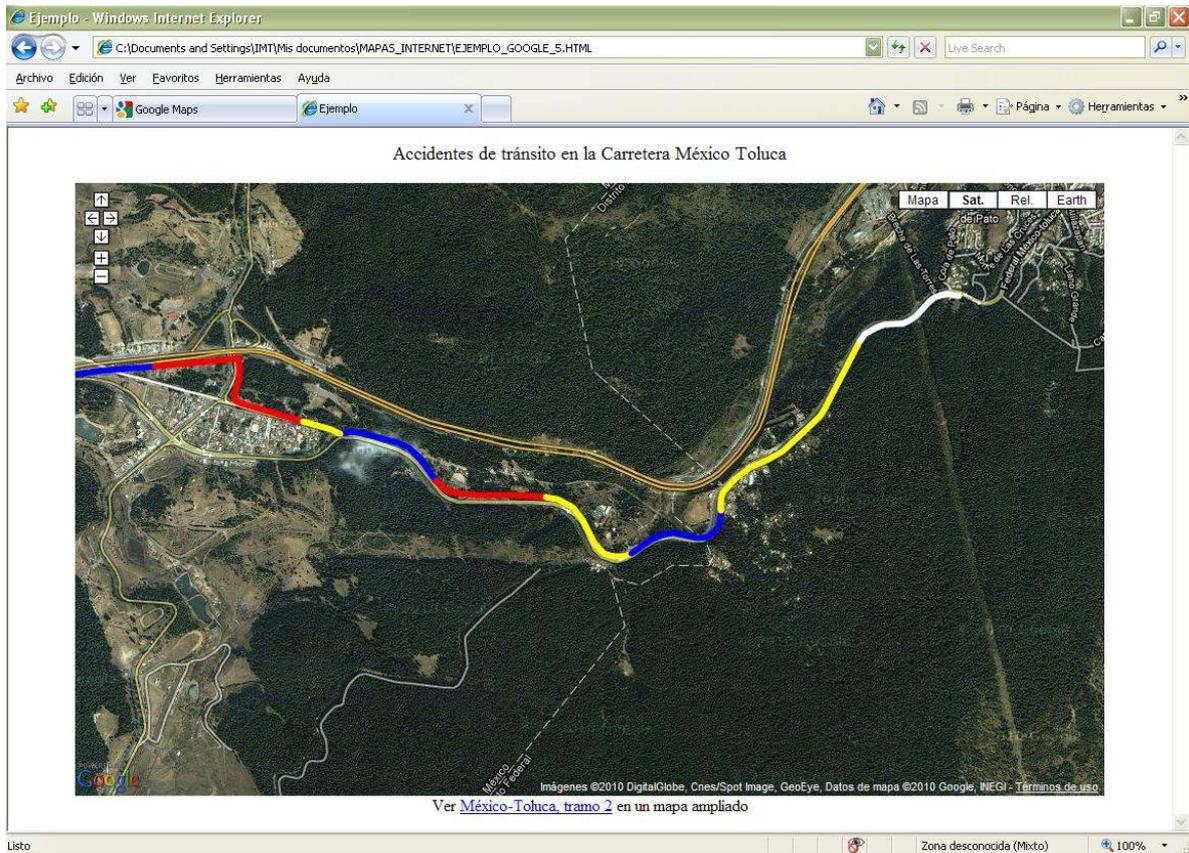


Figura 5 - Representación de accidentes de un tramo de la carretera México-Toluca mediante Google Maps

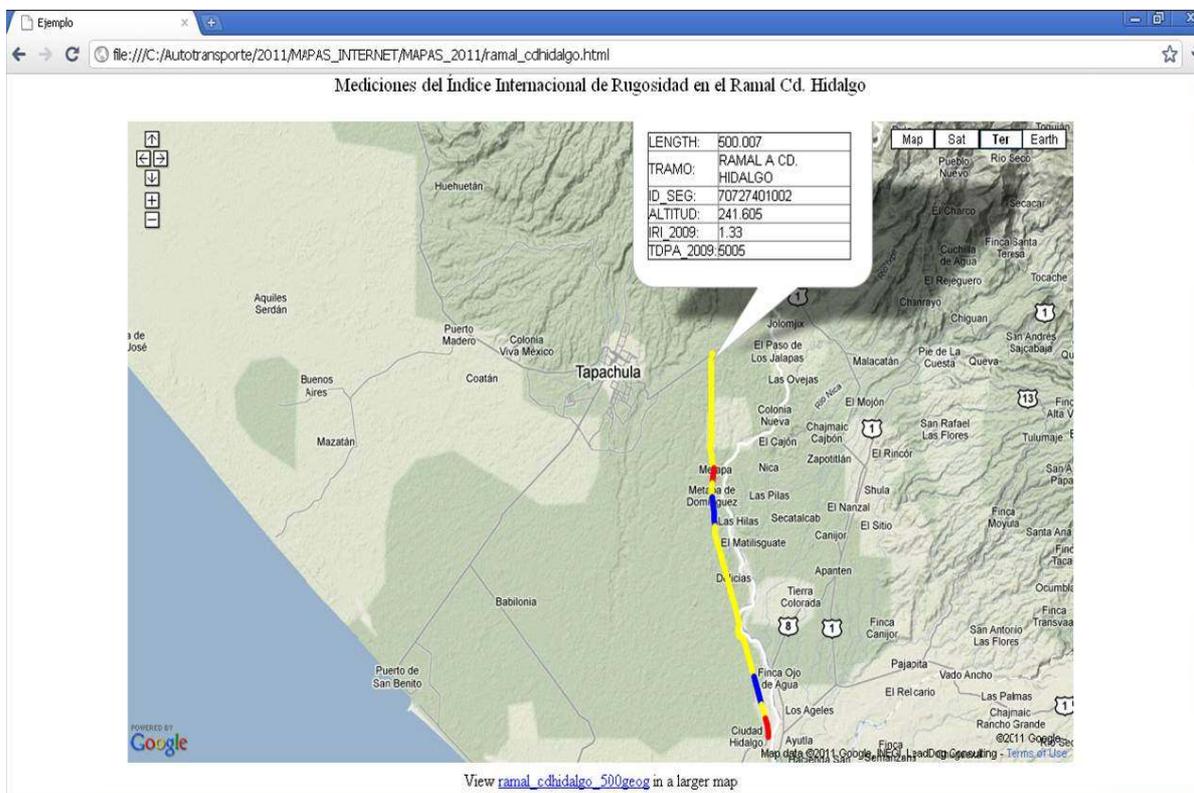


Figura 6 - Representación del IRI en el Ramal Cd. Hidalgo en el Estado de Chiapas

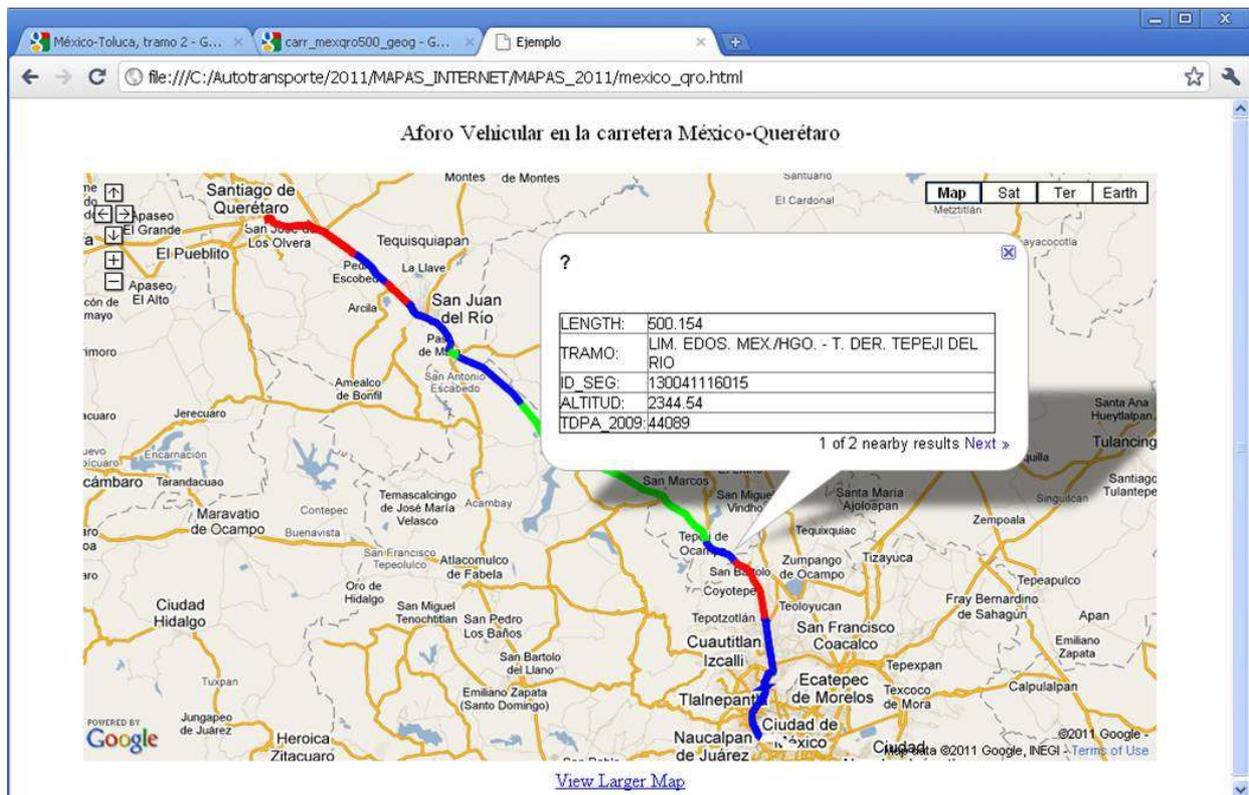


Figura 7 - Representación de aforo vehicular en la carretera México-Querétaro

De esta forma, la disseminación de información geoespacial de carreteras vía Internet es una herramienta útil cuando muestra al mismo tiempo las características físicas y operativas de elementos lineales. La definición de los procedimientos de segmentación dinámica para la representación de información georreferenciada en segmentos de 500 m, así como su vinculación con las Bases de Datos que contienen información específica de los accidentes, aforo vehicular y estado superficial de la vía mediante algoritmos de programación, contribuyen para que un Sistema de Información Geográfica proporcione los resultados esperados, asimismo, posibilita la actualización de datos año con año.

Adicionalmente, una ventaja importante que se obtiene al contar con una amplia red de carreteras clasificada y segmentada a cada 500 m, se centra en la diversidad de usos y aplicaciones en el ámbito de la ingeniería de transporte: cálculo de costos de operación vehicular; obtención de estadísticas de accidentalidad por segmento, tramo y carretera, entre otros.

4. ALGORITMOS DE PROGRAMACIÓN

La representación de información geoespacial con características de número de accidentes de tránsito, aforo vehicular y estado superficial de la vía, fue posible mediante algoritmos de programación en Microsoft Visual FoxPro. El diagrama de flujo y el código de los tres principales algoritmos de programación utilizados ("asigna_id_segmento.prg", "vincula_aforos.prg" and "vincula_iri.prg"), así como más detalles de la información, forman parte de un trabajo de tesis de maestría [5].

REFERENCIAS

1. IMT 1999. Instituto Mexicano del Transporte. Sistema de Información GeoEstadística para el Transporte (SIGET), Querétaro, México.
2. ESRI, 1995, Understanding GIS, The Arc/Info Method, version 7 for Unix and Open VMS.
3. Tait, Michael G., 2004, Implementing geoportals: applications of distributed GIS, Elsevier, Computers, Environment and Urban Systems, p 35.
4. Zhong-Ren, Peng; Ming-Hsiang, Tsou, 2003, Internet GIS, United States of America, John Wiley & sons, INC, p 5.
5. Villegas, Noelia, 2011, Sistema de Información Geográfica Distribuido para la detección de zonas de mayor índice de accidentes en Carreteras Federales, Universidad Autónoma de Querétaro, México.