ISSN 0188-7297

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
SCT
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

DESARROLLO DEL MODELO STAN PARA LAS OPERACIONES DEL AUTOTRANSPORTE DE CARGA POR LA RED CARRETERA

Néstor A. Valdez Oviedo
Alberto Mendoza Díaz

Publicación Técnica No. 206
Sanfandila, Qro, 2002

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

Desarrollo del modelo STAN para las operaciones del autotransporte de carga por la red carretera

Publicación Técnica No. 206
Sanfandila, Qro, 2002

Este trabajo se elaboró en la Coordinación de Seguridad y Operación del Transporte, por Néstor A. Valdez Oviedo y Alberto Mendoza Díaz. Se contó con la colaboración de Antonio García Chávez y Juan R. Leyva Castro para los comentarios, revisión final y edición del mismo.

Índice

Resumen VII

Abstract IX

Resumen ejecutivo XI

Cap 1. Introducción 1

1.1 Descripción del trabajo 1
1.2 Justificación 2
1.3 Objetivos 2
1.3.1 Objetivo general 2
1.3.2 Objetivos particulares 3
1.4 Alcances 3
1.5 Estructura del trabajo 4

Cap 2. Marco de referencia 9

2.1 Asignación 9
2.2 Modelos de planeación estratégica de transporte de carga en redes 10
2.3 Sistemas de información geográfica (SIG) 12
2.4 Sistemas de posicionamiento global 13
2.5 Modelo de red a considerar 14
2.6 Costos de transporte 14
2.7 Información origen-destino (O-D) 15

Cap 3. Antecedentes 17

3.1 SIGET 17
3.2 ARCVIEW 18
3.3 STAN 18
3.4 EECAN 22
3.5 VOC 22

Cap 4. Desarrollo del modelo físico de la red **25**

4.1 Construcción del modelo geográfico en ArcView 25
4.1.1 Importación de archivos originales 25
4.1.2 Adición de tramos urbanos y suburbanos 26
4.1.3 Incorporación de centroides y conectores 27
4.1.4 Depuración de la red 29
4.1.5 Generación del tema de nodos 30
4.1.6 Redefinición del nombre de algunos elementos y modelo final de red en ArcView 30
4.1.7 Integración de datos adicionales requeridos 31

4.2. Generación de archivos de stan para arcos, nodos y transferencias 35
4.2.1 Arcos y nodos 35
4.2.2 Transferencias 36

4.3. Integración de datos en STAN 38
4.3.1 Creación y dimensionamiento del banco de datos de STAN 38
4.3.2 Especificación de modos 39
4.3.3 Especificación de productos 40
4.3.4 Especificación de vehículos 40
4.3.5 Especificación de conjuntos de funciones de costo 41
4.3.6 Lectura de archivos de arcos, nodos y transferencias 42
4.3.7 Incorporación de límites geográficos y textos 42
4.3.8 Generación de algunas representaciones gráficas en STAN 43

Cap 5. Generación de funciones de costo y matriz O-D multiproducto **45**

5.1. Funciones de costo 45
5.1.1 Arcos de autopistas de cuota 45
5.1.2 Arcos de carreteras libres 46
5.1.3 Conectores de centroide 47

5.2. Matriz O-D multiproducto 48
5.2.1 Principios de integración de la matriz 48
5.2.2 Calibración de la matriz 51
5.2.3 Alimentación del STAN con las matrices O-D de los distintos tipos de productos 56

Cap 6. Generación de resultados 57

6.1 Resultados relacionados con el modelo de red 57
6.2 Resultados relacionados con la información O-D 58
6.3 Resultados relacionados con el proceso de asignación 62
6.3.1 Asignación agregada 62
6.3.2 Asignación desagregada por tipo de producto 68

6.4 Otros resultados 68

Conclusiones y recomendaciones **73**

Referencias bibliográficas **75**

A n e x o s **77**

Anexo A. Programas elaborados en lenguaje Avenue **79**

Anexo B. Listado de centroides **101**

Resumen

Este trabajo se realizó con la finalidad de generar un modelo de planeación que permita simular los movimientos del autotransporte de carga a través de la Red Carretera Federal, para lo cual se construyeron las herramientas necesarias para llevar a cabo dichas simulaciones considerando diferentes modos de transporte, así como diversos tipos de producto. Las herramientas se construyeron a partir de insumos que contienen la información más exacta con que se cuenta en el país.

Con este trabajo se busca también vencer el obstáculo de capacidad de los distintos paquetes de cómputo que existen para manipular la información requerida en la generación de modelos de asignación en el contexto del transporte mediante una interfase que permite aprovechar lo mejor de los paquetes de cómputo disponibles, y con ello lograr una interacción que hace factible una generación rápida y eficiente de modelos de asignación en redes de gran tamaño. El desarrollo del modelo se basa en el Sistema de Información Geográfica (SIG) denominado ArcView, así como en el paquete para elaborar modelos de asignación multimodal-multiproducto, denominado Strategic Transportation ANalysis (STAN).

La metodología para cumplir con las metas planteadas inició con la recopilación de información georreferenciada que fuera lo más representativa de la Red Carretera Federal, para después adecuar dicha información y ajustarla a un modelo que represente lo que es en la realidad la Red Carretera Federal, cuidando al mismo tiempo que la topología se reflejara en un modelo geográfico de la misma. A continuación se generó una interfase que automatiza la exportación de la información georreferenciada de la red a modelar, así como de la demanda de transporte desde un software para el manejo de información geográfica hacia un software de asignación de flujos de transporte sobre un modelo de red.

Con dicha información se procedió a realizar asignaciones que permitirán calibrar la información de demanda sobre el modelo de red, tanto de infraestructura como de demanda de transporte de carga, que permite asignaciones de los flujos de transporte carretero de carga a nivel nacional. Como complemento se pone a disposición una metodología que permitirá extender el modelo hacia los otros modos de transporte, o generar sus modelos individuales respectivamente.

De este trabajo se concluye que las metas planteadas se alcanzaron en su totalidad, lo cual proporciona una herramienta de planeación de gran utilidad en la toma de decisiones de importancia para el sector transporte a nivel nacional. Una aportación más de este trabajo es que permite la interacción entre dos paquetes de cómputo (ArcView y STAN), lo cual se reflejará en mayor eficiencia en el ámbito de la planeación al hacer de la tarea de modelación de grandes redes, una labor relativamente rápida y sencilla.

(Palabras clave: modelación, planeación, redes, transporte)

Abstract

This work has been carried out with the aim of generating an assignment model that helps simulate the freight truck transport flows through the Federal Road Network (FRN). The former required the construction of tools that allows such simulations, considering different transport modes and different merchandise. Such tools were constructed from inputs containing the most precise information currently available in our country. With this work, the capacity constraints of state-of-art planning software for handling large networks are overcome through the construction of interfaces that permit combination and interaction of different computer-based packages. Development of the model is based on the Geographic Information System (GIS) named ArcView, as well as on the multimodal-multicommodity assignment package named “Strategic Transportation Analysis (STAN)”.

The methodology followed to meet the proposed objectives, starts with the compilation of most precise available geographically referenced information of the FRN. This is the network on which the freight truck transport demand (origin-destination flows) is to be assigned. The next step consists of generating a network model (based on nodes, links, centroids and centroid connectors) on ArcView that fits the topology of the FRN. Then, an interface is created to export the network model elements from ArcView to STAN, including the multicommodity origin-destination flows. Once all such information is loaded into STAN, this program is run in order to calibrate the model. As a result of this work, a STAN assignment model is generated with basis on the latest infrastructure and origin-destination flow information. The model is used to generate some results, such as identification of the fraction of the FRN on which most of the national freight flows are transported. The work also provides a methodology to extend the assignment model to other modes, or to construct the individual model for each mode.

It can be concluded that the goals originally proposed for this work, were totally reached. This work provides a very useful planning tool for decision making related to transport at the national level. It is important to point out that the most relevant contribution of this work is to allow an interaction between two computer packages (ArcView and STAN). The latter makes it possible to carry out the modeling of very big networks (like the FRN), in a very easy and simple way.

(Keywords: modeling, network, transport)

Resumen ejecutivo

Introducción

Este trabajo presenta el desarrollo de una metodología que permite la planeación de redes de transporte de manera rápida y eficiente al haberse automatizado las actividades que en el pasado requerían grandes inversiones de tiempo y esfuerzo por parte de los “planeadores” al mismo tiempo se ha vencido la barrera de interacción entre diferentes paquetes de cómputo que realizan tareas específicas y que al integrarse incrementan notablemente el potencial de desempeño en el área de la planeación.

Descripción del Trabajo

De manera general, los pasos seguidos consistieron en, recopilar toda la información disponible que pudiera ser de utilidad para lograr los fines perseguidos en el trabajo (p ej, infraestructura, demanda, operación de transporte, etc).

Lo siguiente fue identificar las herramientas de cómputo adecuadas para el manejo de dicha información y su modelación; las cuales, en combinación, representen un sistema integral que permita manipular la información y alcanzar los fines perseguidos en este trabajo.

Identificadas dichas herramientas computacionales, lo siguiente fue introducir toda la información de interés en el software de planeación de transporte elegido para este trabajo, cuidando que tuviera ciertas características de formato para ser procesada por el paquete de planeación. Para facilitar lo anterior se generó una metodología que facilitara la interacción entre las distintas herramientas computacionales elegidas.

Finalmente, fue necesario calibrar el modelo de acuerdo con escenarios base reales, para que a partir de ellos se realizaran simulaciones con resultados confiables para escenarios supuestos.

Justificación

El trabajo surgió como una respuesta para que las entidades gubernamentales de planeación del autotransporte de carga nacional contaran con un modelo de la Red Carretera Federal (RCF) que contuviera la información más reciente, para que con un software de planeación de transporte se obtengan resultados de diversos posibles escenarios.

Objetivos

Generar un modelo de asignación en un software de Modelación Estratégica de Transporte de Carga en Redes para realizar simulaciones de los movimientos del autotransporte de carga a través de la (RCF), así como construir las herramientas que permitan llevar a cabo dichas simulaciones de una manera práctica, rápida y eficiente para proporcionar una herramienta de apoyo a los organismos de planeación del transporte del país.

Alcances

Generar un modelo de la RCF en un Sistema de Información Geográfica (SIG), con su topología de red correspondiente.

Generar un procedimiento que haga posible compartir información entre un software de planeación de transporte y un SIG, lo cual constituye un problema en términos tanto de estructura como de necesidades de información.

Alimentar un software de planeación de transporte, con un modelo base calibrado que contenga la información más actualizada posible.

Marco de Referencia

Asignación

En el contexto de este trabajo, el término "asignación" se refiere a "asignación de tránsito". Éste término es uno de los que en la temática de la planeación del transporte suelen denominarse como "cuatro pasos del proceso de planeación" (Transportation Planning Handbook, 1992).
Éstos son:

Generación y atracción de viajes. Tiene por objeto determinar el número de viajes que durante un cierto período se producen en cada una de las zonas de cierta región bajo estudio, así como aquellos que son atraídos por cada zona. En el caso específico que se aborda en este trabajo, los viajes de interés son los de carga por la RCF, y la región en estudio es la República Mexicana.

Distribución de viajes. Consiste en establecer las ligas entre producción y atracción de las distintas zonas definidas en el paso anterior, llegándose a la generación de la matriz O-D correspondiente.

Reparto modal. Dado que los pasos anteriores hacen referencia a viajes totales producidos en la región bajo estudio, este paso tiene por objeto repartir dichos viajes entre los diferentes modos de transporte, atendiendo a las características del servicio ofrecido por cada uno de ellos.

Asignación de tránsito. Consiste en tomar la fracción de la matriz repartida a un modo particular y asignarla a las diferentes alternativas de caminos de la subred de ese modo, atendiendo a las características particulares de los viajes a través de esos caminos (distancia, tiempo costo, etc).

Para el desarrollo del trabajo se cuenta con la información que permite generar la matriz O-D del tipo de transporte considerado (autotransporte de carga a través de la RCF) (Gutiérrez, HJL, et al, 1999), razón por la cual este trabajo sólo se refiere al último de los cuatro pasos anteriores. En el enfoque al que se hace referencia, la asignación de tránsito se refiere a la matriz O-D de forma agregada y desagregada, esta última en términos de diferentes tipos de productos; por tanto, los flujos asignados obtenidos son también desagregados. Por tal razón, este tipo de asignación se le denomina "multiproducto".

Como es evidente, los pasos anteriores tienen como propósito llegar a la predicción de los flujos en los diferentes caminos y, por lo mismo, en los tramos de la red de cada uno de los modos de transporte considerados. Para cada paso existen modelos que permiten realizar las predicciones. Los resultados finales del proceso completo de planeación hacen factible evaluar el impacto que diversas modificaciones en los sistemas modelados pudieran producir en los flujos. Esta información, usualmente permite pronosticar los efectos de variaciones en los sistemas, tales como la construcción de nueva infraestructura, la introducción de avances tecnológicos en cualquiera de los modos, el mejoramiento de la calidad del servicio, cambios en el ambiente económico-regulatorio, etc.

Modelos de Planeación Estratégica de Transporte de Carga en Redes

Son modelos matemáticos integrados en paquetes computacionales empleados en la planeación del transporte de carga en redes; generalmente no se utilizan en el manejo de operaciones diarias o momentáneas, sino principalmente para pronósticos de flujos de carga hacia el futuro en períodos que pueden ser mensuales, anuales, etc.
Los paquetes computacionales con dichos modelos se han venido desarrollando de manera significativa a partir de los 70's. Desde entonces se han venido desarrollando otros modelos que han tratado de vencer los problemas sin resolver de los modelos anteriores, hasta llegar a los últimos y más modernos modelos de planeación de transporte de la actualidad (Friesz Terry L, 2000).

Entre estos últimos, se encuentra el denominado Strategic Transportation ANalysis (STAN) (INRO Consultants, Inc, 1995), el cual de acuerdo con sus características y disponibilidad se consideró como adecuado para el logro de los objetivos de este trabajo.

El programa STAN realiza la simulación del tránsito a través de la solución de un problema de programación no lineal que minimiza el costo total generalizado (multimodo y multiproducto), relacionado con el envío de los productos considerados, de sus orígenes a sus destinos, a través de los modos permitidos respetando ciertas restricciones de conservación de flujo y no-negatividad. Las restricciones de capacidad de los arcos de la red, así como el fenómeno de congestionamiento de los diferentes modos, se definen a través de funciones de comportamiento que deben ser especificadas en STAN.

Para cada producto puede permitirse un subconjunto de modos en una asignación dada. Asimismo, es factible definir varias matrices de demanda O-D para un producto dado.

El procedimiento de asignación se realiza con la siguiente función de costo generalizado total:

$$Min \qquad F = \sum_{p} \left(\sum_{a} s_a^p(v) v_a^p + \sum_{t} s_t^p(v) v_t^p \right)$$

Donde:

F = función generalizada de costo

p = producto

a = arco

t = transferencia

$s_a^p(v)$ = costo unitario de p en a

v_a^p = volumen de p en a

$s_t^p(v)$ = costo unitario de p en t

v_t^p = volumen de p en t

El programa define el conjunto de flujos en todos los arcos que satisface los movimientos en la matriz O-D, las restricciones de conservación de flujo y de no-negatividad y que minimiza la función anterior de costo.

El STAN permite obtener una amplia variedad de resultados, ya sea de manera gráfica-interactiva, o a través de salidas impresas (listados, gráficas, mapas, etc). Permite también realizar e ilustrar gráficamente comparaciones de escenarios relacionadas con flujos de productos (en toneladas, vehículos o convoys, y costos).

Es importante especificar que en este trabajo, todos los elementos integrados en el modelo generado tienen una denominación congruente con el contexto de los modelos de redes y de planeación estratégica de transporte de carga utilizados para el trabajo. Estos debido a que en STAN, dependiendo del nivel de detalle y alcance de la modelación, los elementos, pueden ser denominados como alternativas no definidas de manera específica en la literatura existente.

En STAN se debe definir una red mediante modos, nodos y arcos (que constituyen la red base), transbordos, productos, vehículos y conjuntos de funciones. Todos están ordenados en una jerarquía bien definida. Tres tipos de atributos se asocian con ellos: atributos estándar (p ej, coordenadas de los nodos, longitud de los arcos, etc), atributos de usuario y atributos extra (los cuales son definidos por el usuario), y resultados de asignación (después de que una asignación ha sido realizada). Considerando los párrafos anteriores, los flujos a través de la red se modelarán considerando dos modos de transporte, quedando definido uno para autopistas de cuota y otro para carreteras libres, y un tercero que representa los conectores de los centroides a la red.

Además se deben especificar las funciones que determinarán el comportamiento de los flujos; esto se hace introduciendo en STAN las funciones de costo asociadas a los modos y tipos de productos correspondientes, y son afectadas por coeficientes que dependen esencialmente del tipo de modo de transporte para este trabajo, pero que permiten hacer una distinción entre los tipos de producto si se desea incrementar el nivel de detalle.

Asimismo, se debe introducir la información de demanda a STAN en forma matricial, y debe indicar los puntos de origen y destino del movimiento de la carga, así como la cantidad de la carga. Si se tienen distintos productos, se debe generar una matriz individual para cada producto, o se pude introducir un matriz de carga agregada.

De lo señalado en este punto , se puede resumir que para generar el modelo en STAN, éste requiere de: I) la construcción de la red de transporte a modelar, así como de su alimentación con datos de los elementos de la misma (p ej, modos, nodos, arcos o enlaces, etc), ya sean datos físicos (capacidad, estado físico, pendiente, etc) u operativos (tránsito diario promedio anual, composición vehicular, etc); II) el ingreso de la información de costo de transporte en función del flujo, por tipo de producto (funciones de costo); y III) la alimentación al sistema con los flujos O-D multiproducto a asignar.

Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Los SIG's son programas computacionales que permiten manejar bases de datos referentes a la ubicación de elementos sobre la superficie terrestre (rasgos geográficos o espaciales) y a otros diversos tipos de información de los mismos, así como representaciones geográficas a partir de dichas bases de datos. Un rasgo geográfico es aquél vinculado a una ubicación geográfica determinada (p ej, un segmento de calle, carretera, etc).

Como se ha mencionado, para este trabajo se eligieron distintos paquetes de cómputo, que permitieran en su conjunto la manipulación de la información cartográfica, y la información del modelo de asignación.

En el caso del manejo de información geográfica se eligieron los SIG's ArcView (ESRI 1996a), y ArcInfo (ESRI 1992).

ArcView fue elegido debido a sus ventajas de bajo costo y versatilidad, lo cual lo hace más accesible; a su vez, es sencillo de manejar. Otra ventaja de ArcView es que contiene una serie de herramientas de programación

como son el Lenguaje Avenue y los diálogos, los cuales permiten expandir su capacidad de manera relevante.

Por otro lado, se eligió ArcInfo como complemento para el tratamiento de la información cartográfica, ya que es un SIG poderoso que permite una serie de aplicaciones a la información cartográfica que sería muy difícil de llevar a cabo en ArcView y en algunos casos imposible.

La razón por la que no se utilizó ArcInfo como el SIG principal, es que debido a su potencial es un paquete mucho más complejo que ArcView, y no se cuenta con la misma experiencia en su manejo. Por ello, solo se utilizó ArcInfo para algunas tareas específicas.

Sistemas de Posicionamiento Global

Sistema de Posicionamiento Global (GPS, por sus siglas en inglés) se refiere a una constelación de satélites que circundan la Tierra, trasmitiendo información precisa de tiempo y posicionamiento a cualquier parte del globo, 24 h al día. GPS envía señales satelitales hacia un receptor ubicado sobre la infraestructura (en el caso de las carreteras, en puntos consecutivos de su trazo); éste registra en archivos electrónicos su ubicación en coordenadas geográficas, quedando levantado de esa manera el inventario de dicha infraestructura.

Modelo de red a considerar

Bajo el principio de utilizar en la elaboración del modelo la información más precisa disponible, la construcción de la red se efectuará a partir de un inventario de la infraestructura carretera nacional, levantado con GPS y manejado con un SIG. Dicho inventario es parte de un sistema de manejo de diferentes tipos de información de todos los modos de transporte del país, denominado Sistema de Información GeoEstadística para el Transporte (SIGET) (IMT, 1999). En ese inventario, los alineamientos (vertical y horizontal) de las carreteras están georreferenciados, es decir, registrados en coordenadas geográficas (longitud, latitud y altitud).

La red a considerar es la parte de la RCF contenida en el inventario de infraestructura del SIGET. Dicha red tiene una longitud del orden de 50,623 km de sección, o cuerpo carretero. Adicionalmente, la modelación incluye los elementos más importantes de conexión de la RCF a través de ciudades y poblaciones, los cuales suman 1,248 km de vialidades de jurisdicción urbana, así como 416 km de carreteras estatales. Por tanto, la red a modelar tiene una extensión total de 52,287 km de cuerpo carretero.

El modelo de red incluye las poblaciones más importantes del país en función del número de habitantes y las carreteras más transitadas por el autotransporte de carga. También incluye los diferentes modos de transporte definidos para este trabajo, a través de los cuales se modelará la red total, así como los elementos que permitan la transferencia de flujos entre modos. Cabe señalar que la razón de especificar en el STAN diferentes modos, es que de esta manera dicho programa permite generar resultados particulares para cada modo, o para combinaciones de ellos.

Información Origen-Destino (O-D)

Como se mencionó, ya se cuenta con la información de O-D considerada para este trabajo; se ha obtenido del Estudio Estadístico de Campo Nacional (EECAN) (Gutiérrez, H, J L, et al, 1999); el estudio se llevó a cabo a través de la instalación de estaciones de exploración en diferentes sitios de la RCF, durante una semana aproximadamente. Por su parte, el EECAN se ha venido realizando anualmente desde el año de 1991. Cada año se instalan entre 10 y 25 estaciones.

En las estaciones de exploración se obtienen datos de los vehículos de carga circulantes por ellas, tales como sus características físicas (peso y dimensiones), tipo y peso de las mercancías que se transportan, cuál es su origen y su destino, edad de los vehículos, tipo de combustible que emplean, sistema de empaque de la carga transportada, tipo de comercio al que pertenecen las mercancías (doméstico o internacional de importación o exportación), etc. A partir de esta información pueden obtenerse datos tales como porcentaje de vehículos vacíos, valor económico de la carga transportada, etc. Para este trabajo se cuenta con la información correspondiente hasta 2001, para alrededor de 120 estaciones, en las cuales se han explorado del orden de un millón de vehículos. La información O-D que se maneja en este trabajo proviene de 50 de las estaciones instaladas entre 1997 y 2001.

VOC (VEHICLE OPERATING COST)

El paquete de cómputo que se utilizará en este trabajo para obtener los COV's de los vehículos de autotransporte de carga, en la RCF es el denominado VOC desarrollado en por el Banco Mundial, con el propósito de proporcionar a los planeadores una herramienta que genere información de COV's que contribuya a una confiable evaluación técnica y económica de sus opciones de inversión. Este paquete, estructurado por el Banco Mundial, se basó en diversos estudios realizados en diferentes países, de los cuales algunos cuentan con sistemas de transporte carretero con condiciones similares a los de México, como es el caso de Brasil. Dichos estudios se refieren a una serie de modelos matemáticos para diferentes configuraciones vehiculares, que van desde automóviles hasta camiones de pasajeros y de carga.

La función del modelo VOC es simular los efectos de las características físicas y condiciones del camino en las velocidades de operación de varios tipos de vehículos, en sus consumos de combustibles y lubricantes, en sus requerimientos de mantenimiento, etc, y determinar sus costos totales de operación, para lo cual requiere que sean introducidos previamente algunos costos unitarios (p ej, combustibles, lubricantes, llantas, etc).

Los pasos seguidos por el modelo en el cálculo de la velocidad, uso de recursos y costos de operación para un tipo de vehículo dado y una sección de camino determinada, son:

Calcular la velocidad de operación promedio para el vehículo seleccionado.
Calcular las cantidades de recursos utilizadas por cada 1,000 vehículos-kilómetro (veh-km) para los siguientes componentes:

- Consumo de combustibles
- Consumo de lubricantes
- Consumo de llantas
- Tiempo de los tripulantes
- Tiempo de los pasajeros
- Tiempo o retención de la carga
- Mano de obra o de mantenimiento
- Refacciones
- Depreciación
- Interés
- Indirectos

Aplicar costos unitarios a las cantidades consumidas de recursos para obtener el costo de operación por cada 1,000 veh-km para cada componente.
Sumar los costos de operación para cada componente con el fin de calcular el costo de operación vehicular total por cada 1,000 veh-km.

Costos de Transporte

Dentro del contexto de STAN se pueden considerar hasta tres componentes del costo de transporte, los que a su vez integran el costo unitario total por transitar a través de un tramo o arco de la red considerada; de ahí que para este trabajo se eligieron tales componentes de la siguiente manera: cuotas cobradas en autopistas de cuota; costos de operación vehicular (COVs) del autotransporte de carga bajo condiciones de flujo libre, estimados mediante el programa VOC (Archondo-Callao, R, 1989); y costos por demoras.

Las cuotas cobradas en autopistas de cuota resultan de organismos operadores o reguladores de las mismas. Los valores de COV, bajo condiciones de flujo libre, se obtienen a partir del VOC del Banco Mundial, con base en la información de los alineamientos de las carreteras contenida en el inventario de infraestructura del SIGET. Los costos por demoras son posteriores por una función de congestionamiento extraída del Manual de Capacidad de Carreteras de los EUA (National Research Council 1985), para generar el componente de costo por demoras a partir de un factor exponencial que afecta al COV bajo condiciones de flujo libre para tomar en cuenta los efectos de congestionamiento vial. Los tres componentes de costo dan lugar a ciertas relaciones funcionales denominadas funciones de costos, que son las que se ingresan al STAN. El COV de un cierto recorrido, es la suma de los COVs de sus segmentos componentes.

En el STAN, la modelación puede realizarse de manera desagregada considerando varios tipos de productos. Si esto es lo deseado, debe ingresarse en dicho programa un conjunto de funciones para cada modo de transporte considerado dentro de la modelación, que incluya a su vez una función correspondiente para cada producto considerado para transportarse a través de ese modo. También deben ingresarse un conjunto de características referentes al vehículo típico mediante el cual se mueve cada tipo de producto a través de cada modo. También en este caso, la información de los flujos O-D debe ingresarse de manera desagregada de acuerdo con los diferentes tipos de productos considerados.

Construcción del Modelo Geográfico en ArcView

Importación de archivos originales

Para la construcción del modelo de la red se creó un proyecto específico en ArcView ("Red.apr") dentro del cual se generó una vista denominada Red Carretera Federal, importando a ella conjuntos de rasgos geográficos extraídos de coberturas de ArcInfo del SIGET. En ArcView, cada uno de estos conjuntos se maneja en un archivo diferente, denominado tema; cada uno de ellos contiene en su nombre la extensión "shp", que es un distintivo para identificar los archivos que se encuentran en el formato de datos espaciales de ArcView ("shapefiles"). Los archivos importados del SIGET para la elaboración del modelo de red en este trabajo, son:

Red_continua.shp. En este archivo, cada registro corresponde a un rasgo espacial del tipo polilínea (poligonal abierta), que representa un tramo carretero según la clasificación de carreteras de la DGST de la SCT (DGST, 1998).

Estatales.shp. En este archivo, cada registro corresponde a una poligonal abierta que representa un tramo de carretera estatal. En general estas carreteras no se incluyen en la modelación, con excepción de 88 tramos de ellas que se utilizan para dar continuidad a la red modelada.

Cabe.shp. En este archivo, cada registro corresponde a un punto que indica la ubicación física de una cabecera municipal. Este archivo se importó con 1,570 registros.

Limites.shp. En este archivo, cada registro corresponde a un polígono que representa un estado de la República Mexicana, por lo cual contiene 32 registros.

Adición de tramos urbanos y suburbanos

Como se indicó, a la información geográfica importada se le añadieron los tramos urbanos y suburbanos necesarios para dar continuidad a la red modelada, a través de las trazas viales de las principales ciudades y poblaciones. Esta información se obtuvo de archivos electrónicos de SIG's existentes para esas trazas (IMT, 1999). El procedimiento consistió en: I) importar a ArcView los temas para armar la vista de dichas trazas; II) cortar de dichos temas las vialidades consideradas como relevantes de adicionar, y III) pegarlas en el tema Red_Continua.shp, de la vista Red Carretera Federal, ajustándolas previamente a la escala o proyección de esta última.

Incorporación de centroides y conectores

A partir de los centroides empleados en un trabajo de modelación similar realizado hace algunos años (Gil Anaya Claudia Z, et al, 1999) y de las localidades de más de 15,000 habitantes reportadas por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), (INEGI, 1995), se seleccionaron 573 centroides distribuidos en todo el país.

Depuración de la red

Por como fue importada del SIGET la Red considerada, resultaron algunas imperfecciones, cuya corrección es indispensable en la construcción del modelo físico. Las más importantes se referían a discontinuidades inexistentes en la realidad (p ej, entre límites de estados), así como a la falta de intersección en muchos de los cruces entre carreteras en los que efectivamente la hay. Por tanto, fue necesario efectuar las correcciones correspondientes.

El primer tipo de imperfección (discontinuidades inexistentes en la realidad) fue corregido manualmente con ArcInfo, utilizando las herramientas de éste para la identificación de discontinuidades ("dangles"), y para la edición de rasgos geográficos.

Para corregir el segundo tipo de imperfección (falta de intersección en muchos cruces entre carreteras en los que efectivamente la hay), se sometió la red a ciertos procesos de ArcInfo que implican la re-segmentación de los tramos cada 500 cambios consecutivos de dirección ("vértices"), y cuando se presenta un cruce entre carreteras.

Generación del tema de nodos

También a partir de "Redarc" se creó en ArcInfo un archivo de nodos (rasgos espaciales, tipo punto) en formato de ArcView, denominado "Redavnodos.shp". En éste quedó definido un nodo en cada extremo de cada arco de la red contenida en el archivo Redarc (segmentada cada 500 vértices y cuando se presenta un cruce entre carreteras). Por tanto, de igual manera que para los arcos, fue necesario hacer congruente el sistema de nodos en "Redavnodos.shp" con la segmentación a nivel de tramos de la clasificación de carreteras de la DGST.

Redefinición del nombre de algunos elementos, y modelo final de red en ArcView

Con el propósito de agilizar el manejo de archivos, principalmente con fines de programación, así como de mejorar la presentación de vistas e imágenes del sistema manejado en ArcView, se consideró conveniente cambiar el nombre de algunos elementos (vistas, temas, etc).

Integración de datos adicionales requeridos

En ArcView para cada tema, existe una tabla de atributos, la cual es una base de datos que almacena en diferentes campos las características específicas de cada rasgo geográfico (en cada registro de dicha base).
Por requerimientos de la modelación en el STAN, es necesario que la tabla de atributos del tema de nodos (“nodos”) y la del tema de arcos (“arcos”) incluyan las variables indicadas. Con este fin se elaboraron dos bases de datos (tablas electrónicas), una para nodos y otra para arcos en las que al lado del identificador único de cada elemento se capturaron los valores de las variables respectivas. Dichos valores se obtuvieron a partir de diversos archivos y mapas existentes en la SCT.

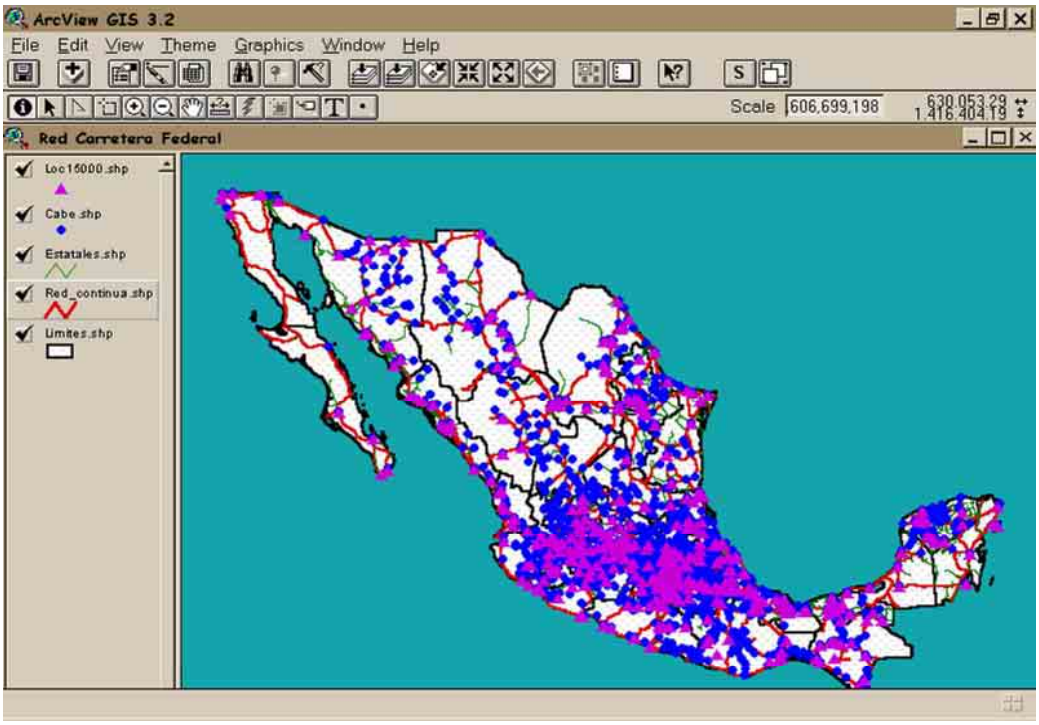

Fig 1. SIGET complementado.

Generación de archivos de STAN para arcos, nodos y transferencias

En el STAN, todos los datos de un tipo de elemento (arco, nodo, transferencia, etc) pueden ingresarse interactivamente, o en lote ("batch"). Para arcos, nodos y transferencias entre modos, conviene ingresar sus datos en la modalidad de lote, ya que en problemas reales como el que se aborda en este trabajo, su número suele ser muy grande.

Arcos y nodos

Es necesario generar un sólo archivo de texto que integre la información requerida para arcos y nodos. Esto fue efectuado mediante un programa ("script") elaborado en Avenue, el cual se presenta en el Anexo A.

Transferencias

Con el fin de permitir la continuidad de los flujos a través de las subredes de los distintos modos (autopistas de cuota, federales libres y conectores), es necesario definir las transferencias correspondientes en los nodos en donde inciden arcos de dos o más modos.

La especificación de transferencias en el STAN puede hacerse manualmente o en lote. Como generalmente las transferencias a especificar son muchas, en el caso de problemas reales como el que se aborda en este documento, lo más conveniente es alimentar su especificación en el STAN por lote, así que, de manera similar como para los arcos y los nodos, debe elaborarse un archivo de texto que contenga la especificación de todas las transferencias, en el formato que el STAN requiere para leer esa información.

Integración de datos en STAN

Creación y dimensionamiento del banco de datos de STAN

Lo primero que debe realizarse en el STAN para una aplicación específica, es crear su banco de datos y especificar las dimensiones máximas del mismo. Esto se realiza mediante la instrucción "stan newbank", la cual activa una serie de preguntas dirigidas al usuario en relación con dicho dimensionamiento. Para la aplicación considerada en este trabajo, esas preguntas fueron en general contestadas con una opción de "default" que el STAN ofrece para cada una de ellas. De esta manera, para las diferentes variables, el tamaño máximo del banco de datos quedó definido con: I) 85 escenarios, II) 800 zonas y centroides, III) 4,800 nodos y centroides, IV) 16,000 arcos, V) 16,000 transferencias entre modos, VI) 30 modos, VII) 12

productos, VIII) 99 matrices O-D completas (así como 99 de origen, 99 de destino y 99 escalares), IX) 299 funciones de costo por clase de función, X) 6000 operadores por clase de función, XI) 1,200 conjuntos de funciones de costo para arco, y XII) 1,200 conjuntos de funciones de costo para transferencia entre modos. No se incluyo tabla de atributos adicionales para los elementos de la red (nodos, arcos, etc). Se especificó el siguiente título para el proyecto FLUJOS MULTIPRODUCTO DEL AUTOTRANSPORTE DE CARGA.

Algunas de las variables mencionadas ya han sido definidas, en tanto que otras se hará más adelante. Es evidente que los límites máximos definidos para ellas son mayores que los valores que se tienen para las mismas para el caso que se desea modelar (p. ej, 800 zonas y centroides de límite máximo contra 573 que realmente se tienen; 4,800 nodos y centroides de límite máximo contra 3,728 que se tienen; 16,000 arcos de límite máximo contra 8,990 que se tienen, etc).

Posteriormente, el STAN activa un sistema de menús a través del cual funciona. El primero de ellos permite seleccionar o inicializar un subproyecto o escenario de trabajo. En este caso, el escenario inicializado fue denominado “2001, ESCENARIO BASE”.

Especificación de modos

Se especificaron interactivamente tres modos: uno para autopistas de cuota (a), otro para carreteras libres (c), y otro para conectores (x).

Para cada modo debe especificarse una denominación o descripción, un tipo de línea, un color de línea, un factor especial (llamado phim) que puede utilizarse para afectar de manera diferente los costos de cada modo, así como tres datos de modo definidos por el usuario (um1, um2, y um3).

Especificación de productos

Se especificaron interactivamente los siguientes diez productos o grupos genéricos de productos:

- Forestales
- Agrícolas
- Animales y derivados
- Minerales
- Petróleo y derivados
- Inorgánicos

- Industriales
- Otros
- Vacíos
- Carga agregada

Se seleccionaron de acuerdo con trabajos anteriores (Trejo R. Juan Manuel, et al, 1999), los primeros 8 grupos anteriores corresponden a la clasificación genérica de mercancías del Estudio Estadístico de Campo del Autotransporte Nacional (EECAN) (Gutiérrez, H, J L, et al, 1999).

Especificación de vehículos

Por requerimientos del STAN, se especificó interactivamente un vehículo estándar para cada combinación de tipo de producto y modo.

Para cada una de esas combinaciones deben especificarse: I) el peso promedio de carga útil transportado por vehículo, II) el peso propio del vehículo, III) el peso del convoy, o suma de los dos elementos anteriores en el caso del autotransporte, y IV) tres datos de vehículo definidos por el usuario

En este trabajo, para los tres modos y los ocho primeros tipos de productos, se especificaron valores iniciales de carga útil transportada por vehículo y peso propio vehicular de 17.5 y 12.5 ton, respectivamente. Para “vacíos” se especificaron valores de 0.01 y 12.51 ton para esos dos parámetros. Para “carga agregada” se especificaron valores de 9.05 y 12.5 ton para los mismos

Especificación de conjuntos de funciones de costo

En este trabajo se utilizan los siguientes números de conjuntos de funciones de costo: 10 para autopistas de cuota, 20 para carreteras libres, 90 para conectores de centroide, y 1 para transferencias.

Por requerimientos del STAN es necesario especificar los componentes que integran estos conjuntos de funciones, además de su asignación a los diferentes tipos de producto. Asimismo, para cada combinación de componente y tipo de producto, debe especificarse la función a partir de la cual hay que calcularse el costo correspondiente.

Lectura de archivos de arcos, nodos y transferencias

A partir de los módulos correspondientes en el menú de STAN, se leyeron en lote, los archivos con las especificaciones de todos los nodos y arcos ("d211.in"), y todas las transferencias ("d221.in"), ya descritos.

El STAN permite generar informes tabulares sobre cualquiera de los atributos que constituyen el modelo, tales como coordenadas de nodos y centroides, nodos de inicio y terminación de los arcos, etc. Asimismo, permite realizar representaciones gráficas de la red modelada, con diferentes niveles de detalle, por ejemplo, la fig 4.3 ilustra la red carretera considerada, incluyendo todos los tramos del modo carretero (autopistas y carreteras libres), así como el sistema de centroides utilizado. Como es evidente, la figura también muestra los límites geográficos incorporados.

Generación de funciones de costo y matriz O-D multiproducto.

Funciones de costo

De conformidad con lo indicado, se definieron funciones de costo para los arcos de la red modelada:

- Arcos de autopistas de cuota
- Arcos de carreteras libres
- Conectores de centroides

Matriz O-D multiproducto

De acuerdo con lo mencionado, la información O-D multiproducto para el desarrollo del modelo de asignación fue obtenida de 50 estaciones de exploración del EECAN instaladas en su entre los años 1997 y 2001. La ubicación se ilustra en la vista del SIG generado para este trabajo que se muestra en la fig 5.1. Como es evidente en la figura, las 50 estaciones utilizadas están distribuidas a lo largo de toda la Red Carretera Federal.

Una vez cargados al STAN todos los elementos mencionados, se realizó la primera corrida de asignación del mismo, para carga agregada en este caso. Una vez realizada esta corrida, se procedió a obtener del STAN los valores asignados de flujo en los arcos donde están ubicadas las estaciones.
El STAN cuenta con un procedimiento interno que permite realizar, después de cada asignación, un análisis de regresión, para un conjunto determinado

de arcos (aquéllos en los que se encuentran ubicadas las 50 estaciones, en este caso), entre los flujos observados y los asignados, obteniéndose la R^2 (coeficiente de determinación) correspondiente. Para esta primera iteración, el STAN arrojó una R^2 de 0.508. Como el valor de R^2 antes obtenido es bajo, se procedió a calibrar la matriz O-D redefiniendo los factores de combinación lineal de las estaciones.

Para este nuevo conjunto de flujos asignados, el STAN arrojó una R^2 de 0.851 que se consideró adecuada, con lo cual se dio por concluido el proceso de calibración del modelo.

GENERACIÓN DE RESULTADOS

En general, se pueden obtener tres tipos de resultados: el primero corresponde a la información relacionada con el modelo de Red ingresado en STAN, el segundo se refiere a la información O-D considerada para el modelo y el tercero se refiere a los resultados obtenidos del proceso de asignación de la demanda O-D sobre la Red considerada.

STAN permite obtener resultados en diferentes formatos:

Por archivo:

- Listados
- Matrices
- Gráficos
- Resúmenes

Por pantalla:

- Reportes
- Gráficos
- Histogramas
- Resúmenes

Asimismo, se presentan algunas aplicaciones relacionadas con el modelo de asignación creado para este trabajo.

Resultados relacionados con el proceso de asignación

Del proceso de asignación efectuado con el modelo generado, se pueden obtener diversos resultados y realizar diferentes análisis. Entre los resultados se encuentran: resúmenes de asignación, resultados de asignación por modo, tipo de arco, producto, etc.

Se pueden obtener resultados de manera visual de la asignación sobre la red en toneladas de carga, vehículos, convoys, etc.

En la fig 2, se muestra la parte más importante de la red modelada en función de la asignación de los movimientos de carga en toneladas. La figura muestra los arcos con flujo diario predicho mayor o igual que 10,978.1 ton. A estos arcos, que representan el 30.6% de la red modelada, les corresponde el 80% de la suma de flujos predichos en todos los arcos. Asimismo, por ellos se transporta el 76.5% de las toneladas-kilómetro (ton-km) totales movidas por la red modelada. Según resultados del modelo, éstas ascienden a 911.4 millones de ton-km/día (332,665 millones de ton-km/año).

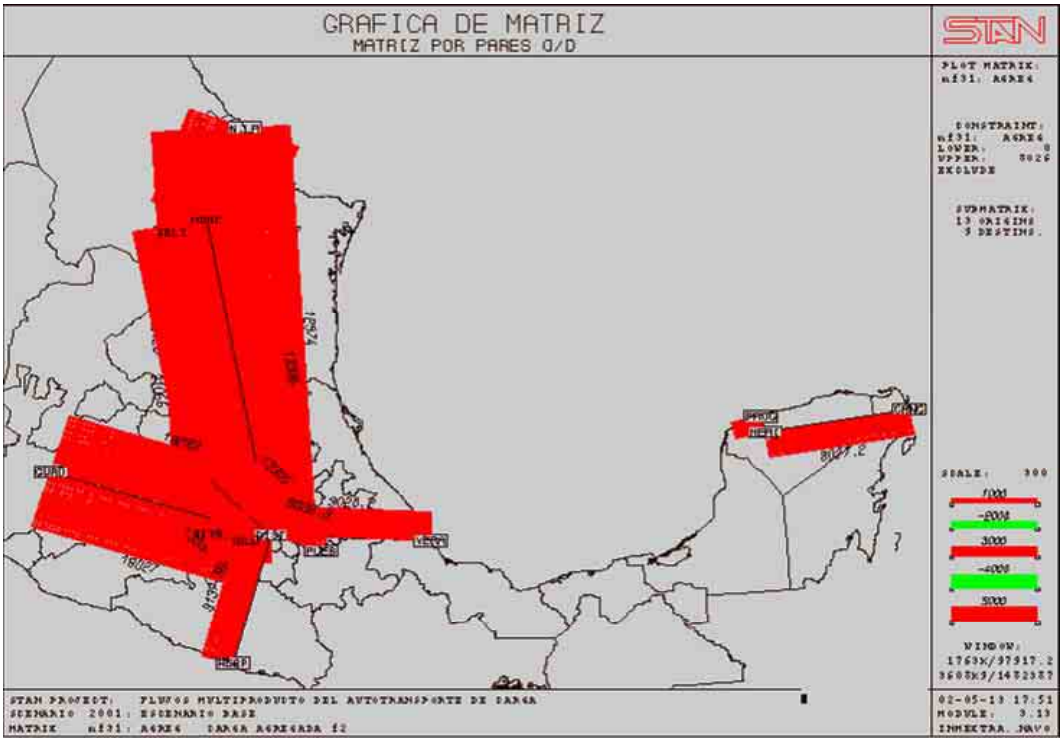

Fig 2. Pares O-D más Importantes

Asignación desagregada por tipo de producto

La tabla 1 presenta los flujos diarios de vehículos-kilómetro (veh-km) y ton-km, obtenidos a partir de la asignación desagregada para los diferentes tipos de productos. La cuarta columna de la tabla indica que los tipos de producto para los que se transportan las mayores cantidades de ton-km son los industriales con 62.2% de las ton-km totales movidas, y los agrícolas con 16.2%. En términos de veh-km, los productos industriales mantienen el primer lugar con 46.4%; ahora en segundo lugar queda el movimiento de vacíos con 24.8%, seguido por los productos agrícolas con 12.6%.

De manera similar que para el caso de las toneladas (discutido en el capítulo anterior), la estructura porcentual de las ton-km entre los diferentes tipos de producto es similar a la reportada en el trabajo anterior mencionado (Gil Anaya Claudia Z, et al, 1999) para la información del EECAN entre 1990 y 1995, aunque entre ese período y la actualidad se detecta un incremento en el porcentaje para los productos industriales de 42.0 a 62.1%.

El costo total de transporte ($133 mil millones/año) se distribuye entre los diferentes tipos de productos con porcentajes similares a las de las ton-km.

Otros resultados

Como se ha mencionado en diferentes partes del trabajo, el modelo puede tener diferentes aplicaciones, como identificar corredores prioritarios a modernizar, para sustentar el desarrollo del país.

A partir de ingresarse en el modelo la información correspondiente a ciertos servicios, sería posible determinar sus características operativas idóneas, tales como opciones más convenientes de ruta, etc, así como otros datos económicos de importancia (p ej, ingresos que se generarían, etc).

La última columna de la tabla 1 muestra las distancias promedio por viaje para los distintos tipos de productos, obtenidas de dividir las cifras de veh-km/día en esta tabla entre las de veh/día. Como es evidente, las distancias promedio por viaje son más grandes para los productos que se transportan en mayores cantidades (industriales y agrícolas) y viceversa, encontrándose la distancia para vacíos entre las más pequeñas de todas, por la misma razón.

Tabla 6.1. Flujos diarios de Veh-Km y Ton-Km por tipo de producto.

Producto	Descripción	ton-km/día	%	veh-km/día	%	Dist. prom/viaje (km)
1	Forestales	18,046,488	1.98	1,394,626	1.43	589.7
2	Agrícolas	148,057,900	16.24	12,297,182	12.60	832.5
3	Animales y derivados	35,471,172	3.89	3,114,237	3.19	696.2
4	Minerales	12,338,602	1.35	551,232	0.56	612.5
5	Petróleo y derivados	29,638,462	3.25	1,545,280	1.58	404.9
6	Inorgánicos	23,897,740	2.62	1,759,777	1.80	407.4
7	Industriales	566,720,100	62.18	45,337,496	46.44	763.3
8	Otros	77,239,536	8.47	7,405,521	7.59	793.5
9	Vacíos	0.00	0.00	24,212,657	24.80	433.1
10	**Carga agregada**	**911,410,000**	**100.00**	**97,618,008**	**100.00**	

Conclusiones

El modelo de asignación desarrollado es una herramienta para la planeación de la infraestructura y algunos de sus aspectos operativos más importantes (p ej, tarifas en autopistas de cuota, regulaciones, etc). Permite estimar el impacto en los flujos, derivado de modificaciones en esos aspectos del sistema de transporte, así como en flujos vehiculares en arcos y rutas, costos de transporte, caminos más cortos, etc. Identifica los corredores más importantes para el autotransporte en general o por tipo de producto, de lo cual se puede obtener la longitud de la RCFI más importante en función de los flujos transportados sobre ella; además de obtener datos como ton-km y veh-km por unidad de tiempo movidas en la red, así como los productos de mayor relevancia en su movimiento.

Una primera aplicación contemplada para el modelo generado, incluye la identificación y análisis de posibles corredores de transporte en proyectos de interés por parte del sector transporte.

Entre las aportaciones más importantes de este trabajo, se pueden mencionar:

La creación de una metodología para la generación del modelo de red en formato STAN a partir de información georeferenciada, mostrando la

posibilidad de complementar diversas herramientas computacionales en la elaboración de modelos de asignación para la planeación del transporte.

Una metodología para la creación del modelo de demanda en formato de STAN, a partir de bases de datos con información recopilada en campo.

La generación de programas de cómputo para poder implementar, de manera rápida y eficiente las metodologías anteriores.

Además es importante enfatizar que la precisión de los resultados a partir del modelo generado en STAN, depende de la calidad de los datos de oferta (infraestructura) y demanda (flujos O-D) considerados en la modelación. Con base en lo observado en la información tanto de oferta como de demanda, se concluye que se puede incrementar de manera considerable la calidad de la misma. Aunque los resultados del modelo representan de manera aceptable la realidad, se recomienda mejorar los procedimientos de recopilación, introducir una mayor supervisión en las encuestas por parte de personal calificado, introducir una estandarización de productos y hacerla respetar, etc.

Capítulo 1. Introducción

El transporte es un campo importante de la actividad humana, respalda y hace posible la mayoría de las demás actividades e intercambios económicos; es un campo complejo, con diversos participantes y niveles de decisión, en el que las inversiones son intensivas en capital y usualmente requieren grandes plazos de implementación. Por tanto, es un campo en el que se requieren herramientas exactas y eficientes para apoyar y mejorar los procesos de análisis, planeación y toma de decisiones.

Con el fin de generar una herramienta de análisis y planeación de la infraestructura y los servicios de autotransporte federal de carga, se decidió realizar un modelo de asignación multiproducto para este tipo de transporte.

1.1 Descripción del trabajo

Se debe recopilar toda la información disponible que pudiera ser de utilidad para los fines perseguidos.

El primer paso a seguir consistió en revisar qué tipo de información se tiene disponible (p. ej. información cartográfica y estadística) sobre la infraestructura carretera nacional, así como información asociada a ella, observando a la vez el nivel de detalle contenido en dicha información.

El siguiente paso fue la identificación y recopilación de información para modelar la demanda de los movimientos de tránsito de carga. Asimismo, se identificaron los elementos a considerar para modelar (en el contexto de asignación de tránsito en redes) el patrón del comportamiento de la demanda (p ej, costos, demoras, etc) para lo cual se identificaron algunas herramientas que permiten la predicción de costos de operación vehicular.

Una vez definida la información para modelar la red y la demanda, lo siguiente fue identificar las herramientas computacionales de utilidad en el tratamiento de dicha información para la generación del modelo de asignación. Las cuales, en combinación, deben ser capaces de manipular la información de tal manera que permitan una rápida y eficiente interacción entre ellas, y aprovechar así las ventajas de cada una; en conjunto, los paquetes a seleccionar deben permitir el manejo de información cartográfica, caracterizar la información como un modelo de red, y permitir asignaciones de tránsito a través de distintos modos de transporte, considerando diferentes tipos de productos.

Ya que se han identificado las herramientas computacionales con las características requeridas para dar tratamiento a la información mencionada, el siguiente paso es introducirla en: el modelo físico de red (infraestructura), el comportamiento de los flujos y la demanda dentro del software de planeación de transporte que se elija para este trabajo.

Para ello, la información debe poseer ciertas características de formato para ser procesada por dicho paquete de planeación; es por ello que es recomendable utilizar otros paquetes en el tratamiento necesario de dicha información (que manualmente implicaría una gran inversión de tiempo y esfuerzo) para que ésta pueda ser manipulada en el proceso de asignación adecuadamente. Para facilitar lo anterior, se generó una metodología que permite automatizar y en consecuencia agilizar la integración de la información del modelo de red, y de la información de demanda en un modelo de planeación estratégica de transporte de carga en redes.

Una vez integrada toda la información necesaria en el software de planeación elegido para la asignación de la demanda sobre la red considerada, es necesario ajustar el modelo de tal forma que al realizar simulaciones de la interacción entre el modelo de red y la información Origen-Destino (O-D), los resultados reproduzcan lo más aproximado posible, las situaciones que se observan en la realidad.

1.2 Justificación

Este trabajo surgió como una respuesta para las entidades encargadas de la toma de decisiones en la planeación de la infraestructura, y los servicios del autotransporte de carga nacionales de contar con un modelo de asignación integrado básico, alimentando un software de planeación de transporte que permita generar resultados de diversos posibles escenarios. Dicho modelo debe contener la información más actual, y ser susceptible de actualizaciones de una manera rápida y sencilla.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Generar un modelo de asignación en un software de Modelación Estratégica de Transporte de Carga en Redes para simulaciones de los movimientos del autotransporte de carga a través de la Red Carretera Federal (RCF), así como construir las herramientas que permitan llevar a

cabo dichas simulaciones de una manera práctica, rápida y eficiente que sirva de apoyo a los organismos de planeación del transporte del país.

1.3.2 Objetivos particulares

Referentes a la construcción del modelo físico de la red

Elaborar un modelo cartográfico de la red como un sistema de modos, arcos, nodos, centroides, nodos de transferencia entre modos, etc.

Construir y vincular al modelo cartográfico de red, las bases de datos con información indispensable para la interpretación de la misma en el modelo de asignación.

Implementar un mecanismo que, a partir del sistema integral de información referido en el punto anterior, genere un archivo en el formato que sea requerido por el modelo de asignación para ser interpretado.

Referentes al comportamiento de los flujos de transporte

Determinar los costos de transporte representativos del autotransporte nacional de carga, para la RCF.

Definir el patrón del comportamiento de los flujos de transporte.

Referentes a la información O-D a utilizar

Generar la matriz O-D multiproducto de los movimientos nacionales del autotransporte de carga.

Definir una clasificación de productos para el modelo de asignación.

1.4 Alcances

Los alcances de este trabajo contemplan los siguientes puntos:

Generar un modelo de la RCF en un Sistema de Información Geográfica (SIG), con su topología de red correspondiente.

Generar un procedimiento que haga posible compartir información entre un software de planeación de transporte y un SIG, lo cual constituye un problema en términos tanto de estructura como de necesidades de información.

Con el procedimiento anterior dejar alimentado el software de planeación de transporte con un modelo base, el cual deberá contener la información más actualizada posible, y estar ajustada de tal forma que reproduzca en sus resultados lo observado en el mundo real.

1.5 Estructura del trabajo

Queda definida por los siguientes capítulos:

Un capítulo de introducción, el cual presenta los objetivos del trabajo, justificación, alcances, etc.

El segundo capítulo contiene un marco de referencia que define el contexto sobre el cual gira el trabajo.

Un tercer capítulo que describe los antecedentes relevantes. De acuerdo con lo mencionado, se refieren a: I) los elementos principales a partir de los cuales se construye en el STAN el modelo físico de la red considerada, II) los principios de generación de las funciones de costo, y III) la información a partir de la que se obtiene la matriz O-D multiproducto.

Un cuarto capítulo que describe detalladamente la elaboración del modelo físico de la red en STAN. Incluye, entre otros: I) la definición de la Red a considerar, II) la construcción del modelo geográfico de la Red en ArcView, III) la elaboración de los archivos electrónicos tabulares (bases de datos) con los atributos requeridos por el STAN para los elementos integrantes de la Red (nodos y arcos principalmente) y su vinculación al modelo en ArcView, IV) la transferencia o migración al STAN del sistema integral generado en ArcView, y V) la especificación en el STAN de modos, transferencias entre modos, productos, vehículos y conjuntos de funciones. Como una extensión de esta última parte, se incluyen algunas representaciones gráficas obtenidas a partir del modelo físico generado en el STAN.

En el quinto capítulo se describe la generación de las funciones de costo usadas en el modelo, así como la obtención de la matriz O-D multiproducto

a partir de la integración de la información de las estaciones del EECAN instaladas entre 1997 y 2001, además de su calibración.

En el sexto capítulo se presenta la integración en el STAN del modelo físico de la red, de la matriz O-D multiproducto y de las funciones de costo, generándose con ello el modelo de asignación deseado. También se presentan algunos análisis y resultados a partir del mismo.

Finalmente se presenta un conjunto de conclusiones y recomendaciones.

Capítulo 2. Marco de Referencia

2.1 Asignación

En el contexto de este trabajo, el término "asignación" se refiere a "asignación de tránsito". Es uno de los que en la temática de la planeación del transporte, suelen denominarse como "cuatro pasos del proceso de planeación" (Transportation Planning Handbook 1992):

Generación y atracción de viajes. Determina el número de viajes que durante cierto período, se producen en cada una de las zonas de una región bajo estudio, así como aquellos que son atraídos por cada zona. En el caso específico que se aborda en este trabajo, los viajes de interés son los de carga por la RCF, y la región en estudio es la República Mexicana.

Distribución de viajes. Consiste en establecer las ligas entre producción y atracción de las distintas zonas definidas en el paso anterior, llegándose a la generación de la matriz O-D correspondiente.

Reparto modal. Dado que los pasos anteriores hacen referencia a viajes totales producidos en la región bajo estudio; este paso tiene por objeto repartir dichos viajes entre los diferentes modos de transporte, atendiendo a las características del servicio ofrecido por cada uno de ellos.

Asignación de tránsito. Consiste en tomar la fracción de la matriz repartida a un modo particular, y asignarla a las alternativas de caminos de la subred de ese modo, atendiendo a las características particulares de los viajes a través de esos caminos (distancia, tiempo costo, etc).

Para el desarrollo de este trabajo se cuenta con la información para generar la matriz O-D del tipo de transporte considerado (autotransporte de carga a través de la RCF) (Gutiérrez, H, J L, et al, 1999), razón por la cual este trabajo sólo se refiere al último de los cuatro pasos anteriores. En el enfoque al que se hace referencia, la asignación de tránsito se refiere a asignar la matriz O-D de forma agregada y desagregada; esta última en términos de diferentes tipos de productos y, por tanto, los flujos asignados obtenidos son también desagregados. Por esta razón, este tipo de asignación también se denomina "multiproducto".

Como es evidente, los pasos anteriores tienen como propósito llegar a la predicción de los flujos en los diferentes caminos y, por lo mismo, en los tramos de la red de cada uno de los modos de transporte considerados. Para cada uno de los pasos anteriores existen modelos que permiten

realizar tales predicciones. los resultados finales del proceso completo de planeación hacen factible evaluar el impacto que diversas modificaciones en los sistemas modelados pudieran producir en los flujos. Esta información permite usualmente pronosticar los efectos de variaciones en los sistemas, tales como la construcción de nueva infraestructura, introducción de avances tecnológicos en cualquiera de los modos, mejoras de la calidad del servicio, cambios en el ambiente económico-regulatorio, etc.

2.2 Modelos de planeación estratégica de transporte de carga en redes

Son modelos matemáticos integrados en paquetes computacionales empleados en la planeación del transporte de carga en redes; generalmente no se utilizan en el manejo de operaciones diarias o momentáneas, sino principalmente para pronósticos de flujos de carga hacia el futuro en períodos importantes, que pueden ser mensuales, anuales, etc.

Los paquetes computacionales con dichos modelos se han venido desarrollando de manera significativa de los 70's. Desde entonces se han venido desarrollando otros modelos que han tratado vencer los problemas sin resolver de los modelos anteriores, hasta llegar a los últimos y más modernos modelos de planeación de transporte de la actualidad (Friesz Terry L, 2000).

Entre estos últimos modelos se encuentra el denominado "Strategic Transportation ANalysis" (STAN) (INRO Consultants, Inc, 1995), el cual de acuerdo con sus características y disponibilidad se consideró como un modelo adecuado para ser utilizado en el logro de los objetivos planteados en este trabajo.

El programa STAN realiza la simulación del tránsito a través de la solución de un problema de programación no lineal que minimiza el costo total generalizado (multimodo y multiproducto), relacionado con el envío de los productos considerados de sus orígenes a sus destinos, a través de los modos permitidos respetando ciertas restricciones de conservación de flujo y no-negatividad. Las restricciones de capacidad de los arcos de la red, así como el fenómeno de congestionamiento de los diferentes modos se definen a través de funciones de comportamiento que deben ser especificadas en STAN.

Para cada producto puede permitirse un subconjunto de modos en una asignación dada. Asimismo, definir varias matrices de demanda O-D para un producto dado.

El procedimiento de asignación se realiza mediante la siguiente función de costo generalizado total:

$$Min \quad F = \sum_{p} \left(\sum_{a} s_a^p(v) v_a^p + \sum_{t} s_t^p(v) v_t^p \right)$$

Donde:

F =función generalizada de costo

$p =$ producto

$a =$ arco

$t =$ transferencia

$s_a^p(v) =$ costo unitario de p en a

$v_a^p =$ volumen de p en a

$s_t^p(v) =$ costo unitario de p en t

$v_t^p =$ volumen de p en t

El programa define el conjunto de flujos en todos los arcos que satisface los movimientos en la matriz O-D, las restricciones de conservación de flujo y de no-negatividad, y que minimiza la función anterior de costo.

El STAN permite obtener una amplia variedad de resultados, ya sea de manera gráfica-interactiva, o a través de salidas impresas (listados, gráficas, mapas, etc). Permite también realizar e ilustrar gráficamente comparaciones de escenarios relacionadas con flujos de productos (en toneladas, vehículos o convoys y costos).

Es importante especificar que en este trabajo, todos los elementos integrados en el modelo generado tienen una denominación congruente con el contexto de los modelos de redes, y de planeación estratégica de transporte de carga utilizados para el trabajo. Éstos, debido a que en STAN, dependiendo del nivel de detalle y alcance de la modelación, los elementos pueden ser denominados como alternativas no definidas de manera específica en la literatura existente.

En STAN se debe definir una red por medio de modos, nodos y arcos (que constituyen la red base), transbordos, productos, vehículos y conjuntos de funciones. Todos estos elementos se ordenan en una jerarquía bien definida. Tres tipos de atributos están asociados con ellos: atributos estándar (p ej, coordenadas de los nodos, longitud de los arcos, etc), atributos de usuario, y atributos extra (los cuales son definidos por el usuario), y resultados de asignación (después de que una asignación ha sido realizada).

Considerando los párrafos anteriores, para este trabajo en particular los flujos a través de la red se modelarán considerando dos modos de transporte, quedando definido uno para autopistas de cuota, y otro para carreteras libres, además de un tercero que representa los conectores de los centroides a la red.

Se deben especificar las funciones que determinarán el comportamiento de los flujos; esto se hace introduciendo en STAN las funciones de costo asociadas a los modos y tipos de productos correspondientes, y son afectadas por coeficientes que dependen esencialmente del tipo de modo de transporte para este trabajo, pero permiten hacer una distinción entre los tipos de producto si se desea incrementar el nivel de detalle.

Asimismo, se debe introducir la información de demanda a STAN, la cual se hace en forma matricial, y debe indicar los puntos de origen y destino del movimiento de la carga, así como la cantidad de ésta; si se tienen distintos productos se debe generar una matriz individual para cada producto, o introducir una matriz de carga agregada.

De lo señalado en este punto se puede resumir que para generar el modelo en STAN, éste requiere de: I) la construcción de la red de transporte a modelar así como de su alimentación con datos de los elementos de la misma (p ej, modos, nodos, arcos o enlaces, etc), ya sean datos físicos (capacidad, estado físico, pendiente, etc) u operativos (tránsito diario promedio anual, composición vehicular, etc); II) el ingreso de la información de costo de transporte en función del flujo, por tipo de producto (funciones de costo); y III) la alimentación al sistema con los flujos O-D multiproducto a asignar.

2.3 Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Los SIG's son programas computacionales que permiten manejar bases de datos referentes a la ubicación de elementos sobre la superficie terrestre

(rasgos geográficos o espaciales), y a otros diversos tipos de información de los mismos además de representaciones geográficas a partir de dichas bases de datos. Un rasgo geográfico es aquel vinculado a una ubicación geográfica determinada (p ej, un segmento de calle, carretera, etc).

Como se ha mencionado, para la realización del trabajo se eligieron distintos paquetes de cómputo, que permitieran en su conjunto la manipulación de la información cartográfica, y la información del modelo de asignación.

En el caso del manejo de información geográfica, se eligieron los SIG's ArcView (ESRI 1996a), y ArcInfo (ESRI 1992).

ArcView fue elegido debido a sus ventajas de bajo costo y versatilidad, lo cual lo hace más accesible, y a su vez es sencillo de manejar. Otra ventaja, es que contiene una serie de herramientas de programación como son el lenguaje Avenue y los diálogos, los cuales permiten expandir su capacidad de manera relevante.

Por otro lado se eligió ArcInfo como complemento para el tratamiento de la información cartográfica, ya que es un SIG poderoso que permite una serie de aplicaciones a la información cartográfica que sería muy difícil de llevar a cabo en ArcView, y en algunos casos imposible.

La razón por la que no se utilizó ArcInfo como el SIG principal es que debido a su potencial, es un paquete mucho más complejo que ArcView y no se cuenta con la misma experiencia en su manejo. Por ello, sólo se utilizó ArcInfo para realizar algunas tareas específicas.

2.4 Sistemas de Posicionamiento Global

Sistema de Posicionamiento Global (GPS, por sus siglas en inglés) se refiere a una constelación de satélites que circundan la Tierra, trasmitiendo información precisa de tiempo y posicionamiento a cualquier parte del globo, 24 h al día. GPS envía señales satelitales hacia un receptor ubicado sobre la infraestructura (en el caso de las carreteras, en puntos consecutivos de su trazo), éste registra en archivos electrónicos su ubicación en coordenadas geográficas, quedando levantado de esa manera el inventario de dicha infraestructura.

2.5 Modelo de red a considerar

Bajo el principio de utilizar en la elaboración del modelo la información más precisa disponible, la construcción de la red se efectuará a partir de un inventario de la infraestructura carretera nacional, levantado con GPS y manejado con un SIG.

Dicho inventario es parte de un sistema de manejo de diferentes tipos de información de todos los modos de transporte del país, denominado Sistema de Información GeoEstadística para el Transporte (SIGET) (IMT 1999). En ese inventario, los alineamientos (vertical y horizontal) de las carreteras están georreferenciados, es decir, registrados en coordenadas geográficas (longitud, latitud y altitud).

La red a considerar es la parte de la RCF contenida en el inventario de infraestructura del SIGET. Dicha red tiene una longitud del orden de 50,623 km de sección o cuerpo carretero. Adicionalmente, la modelación incluye los elementos más importantes de conexión de la RCF a través de ciudades y poblaciones, los cuales suman una longitud de 1,248 km de vialidades de jurisdicción urbana, así como 416 km de carreteras estatales. Por tanto, la red a modelar tiene una extensión total de 52,287 km de cuerpo carretero.

El modelo de red incluye las poblaciones más importantes del país en función del número de habitantes, y las carreteras más transitadas por el autotransporte de carga. También absorbe los diferentes modos de transporte definidos para este trabajo a través de los cuales, se modelará la red total y los elementos que permitan la transferencia de flujos entre modos. Cabe señalar que la razón de especificar en el STAN diferentes modos es que de esta manera, dicho programa permite generar resultados particulares para cada modo, o para combinaciones de ellos.

2.6 Costos de transporte

Dentro del contexto de STAN se pueden considerar hasta tres componentes del costo de transporte, los que a su vez integran el costo unitario total por transitar a través de un tramo o arco de la red considerada, por lo que para este trabajo se eligieron de la siguiente manera: cuotas cobradas en autopistas de cuota; costos de operación vehicular (COVs) del autotransporte de carga, bajo condiciones de flujo libre, estimados mediante el programa “Vehicle Operating Costs (VOC)” (Archondo-Callao, R, 1989); y costos por demoras.

Las cuotas aplicadas en autopistas de cuota se obtienen de organismos operadores o reguladores de las mismas. Los valores de COV bajo condiciones de flujo libre son a partir del VOC del Banco Mundial, con base en la información de los alineamientos de las carreteras contenida en el inventario de infraestructura del SIGET. Los costos por demoras se generan posteriormente con una función de congestionamiento obtenida del Manual de Capacidad de Carreteras de los EUA (National Research Council 1985), para generar el componente de costo por demoras a partir de un factor exponencial que afecta el COV bajo condiciones de flujo libre para tomar en cuenta los efectos de congestionamiento vial. Los tres componentes de costo anteriores dan lugar a ciertas relaciones funcionales denominadas funciones de costos, que son las que se ingresan al STAN. El COV de cierto recorrido es la suma de los COVs de sus segmentos componentes.

En el STAN, la modelación puede realizarse de manera desagregada considerando varios tipos de productos. Si esto es lo deseado, debe ingresarse en dicho programa un conjunto de funciones para cada modo de transporte dentro de la modelación que incluya a su vez una función correspondiente para cada producto considerado para transportarse a través de ese modo. También debe ingresarse un conjunto de características referentes al vehículo típico a través del cual se mueve cada tipo de producto de cada modo. También en este caso, la información de los flujos O-D debe ingresarse de manera desagregada de acuerdo con los diferentes tipos de productos considerados.

2.7 Información Origen-Destino (O-D)

Como se ha mencionado, se cuenta con la información de O-D considerada para este trabajo; dicha información, se ha obtenido del Estudio Estadístico de Campo Nacional (EECAN) (Gutiérrez, H, J L, et al, 1999). Este estudio se lleva a cabo a través de la instalación, durante una semana aproximadamente, de estaciones de exploración en diferentes sitios de la RCF. Se ha venido realizando anualmente desde 1991. Cada año se instalan entre 10 y 25 estaciones.

En las estaciones de exploración se obtienen datos de los vehículos de carga circulantes por ellas, tales como características físicas (peso y dimensiones), tipo y peso de las mercancías que se transportan, cuál es su origen y su destino, edad de los vehículos, tipo de combustible que emplean, sistema de empaque de la carga transportada, tipo de comercio al que pertenecen las mercancías (doméstico o internacional de importación o exportación), etc. A partir de esta información pueden obtenerse otros

datos, como porcentaje de vehículos vacíos, valor económico de la carga transportada, etc. Para este trabajo se tiene la información correspondiente hasta el 2001 para alrededor de 120 estaciones, en las cuales se han explorado del orden de un millón de vehículos. La información O-D que se maneja proviene de 50 estaciones instaladas entre 1997 y 2001.

Capítulo 3. Antecedentes

El desarrollo del modelo de asignación requiere el uso de algunas herramientas computacionales de suma importancia en el manejo de información de redes, como son el SIGET, el Sistema de Información Geográfica denominado ArcView y el programa Strategic Transportation ANalysis (STAN) (Friesz Terry L, 2000). También necesita de la estimación de costos de operación vehicular (COV) mediante el programa Vehicle Operating Costs (VOC) (Archondo-Callao, R. 1989) y de la generación de las matrices O-D a partir de la información recopilada dentro del Estudio Estadístico de Campo del Autotransporte Nacional (EECAN) (Gutiérrez, H, J L, et al, 1999). Estos son los antecedentes fundamentales de este trabajo, los cuales se describen a continuación.

3.1 SIGET

El SIGET es un sistema de bases de datos georreferenciadas y atributos, todas ellas vinculadas. El SIGET se desarrolló en el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) en coordinación con los 31 centros de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) en los estados del país, la Dirección General de Servicios Técnicos (DGST) de la misma Secretaría, y con la asesoría del Instituto de Geografía de la UNAM. El objetivo principal del SIGET es proporcionar una herramienta computacional accesible que permita el registro, análisis y representación de la información geográfica, así como datos estadísticos asociados al transporte.

Una parte del SIGET es el denominado Inventario Nacional de Infraestructura para el Transporte (INIT). El objetivo de esta parte del SIGET es la generación de bases de datos que contengan información georreferenciada sobre el trazo (vertical y horizontal) de la RCF, las carreteras estatales y los caminos rurales del país, incluyendo la localización de puntos de importancia asociados con la infraestructura del transporte.

Durante el proceso de realización de la parte del SIGET denominada INIT, se llevó a cabo la creación de las bases de datos referenciados geográficamente con la información del trazo de las redes carreteras pavimentadas, localización de puertos y aeropuertos, así como la descripción exacta de características asociadas a los caminos como tipo de camino, número de carriles, jurisdicción, Centro SCT responsable del levantamiento, etc.

La obtención de los datos georreferenciados se llevó a cabo por los 31 Centros SCT por medio de levantamientos en campo con Sistemas de Posicionamiento Global (GPS por sus siglas en inglés), con los cuales se capturó la información en el campo en computadoras portátiles. Posteriormente fue recopilada en el IMT donde fue transformada al formato del SIG denominado ArcInfo (ESRI, 1992), el cual es un SIG poderoso pero también costoso y por tanto de acceso limitado.

Lo anterior permite que la información esté disponible en un formato accesible para numerosos usuarios, por ejemplo, al tenerla georreferenciada en el SIG ArcInfo, se esta en la posibilidad de exportarla al SIG ArcView, que es más barato y fácil de manejar que el ArcInfo.

3.2 ARCVIEW

Las ventajas de bajo costo y versatilidad del ArcView lo hacen ideal para el desarrollo de aplicaciones de uso más disponible (p ej, sistemas de administración de pavimentos, sistemas de manejo de datos de accidentes, etc). En ArcView se elabora una representación cartográfica, integrando conjuntos de rasgos geográficos obtenidos en campo dentro de un archivo de ArcView denominado como “proyecto”. Cada uno de estos conjuntos se denomina “tema”. Para cada tema existe una Tabla de Atributos, o sea una base de datos que contiene en diferentes campos, las características específicas de cada rasgo geográfico. A partir de estos temas puede generarse una “vista” o una representación, en la que se ilustra tanto el mapa deseado como la información representada en el mismo. En ArcView, un proyecto es un archivo que contiene todas las vistas, tablas, gráficas, etc, utilizadas en una aplicación específica.

3.3 STAN

Es el software elegido en este trabajo para la elaboración de la asignación multimodo y multiproducto dentro del modelo de la Red Federal Básica, obtenido a partir de información georreferenciada. La asignación es uno de los cuatro pasos del proceso de planeación (generación de viajes, distribución de viajes, reparto modal y asignación de tránsito). Consiste en tomar la fracción de la matriz repartida a un modo particular que cuantifica los viajes de origen a destino por ese modo para un período de tiempo y un área geográfica determinada (matriz origen-destino u O-D de ese modo), y asignarla a los diferentes caminos de la red, atendiendo las características particulares de los viajes a través de esos caminos (distancia, tiempo, costo, etc).

Está compuesto de una serie de módulos para manipular la información pertinente, y que corresponden a los principales elementos del sistema de transporte: redes de infraestructura y/o servicios, matrices de demanda, funciones de comportamiento, procedimiento de asignación y resultados.

Las redes representan la infraestructura y los servicios que constituyen la oferta del sistema de transporte: los modos que especifican cómo se realizan las actividades de transporte, los nodos y los arcos que representan la configuración espacial del sistema de transporte, y las transferencias que capturan las características de las operaciones intermodales.

Las matrices de demanda capturan información referente a: los productos particulares o grupos de productos a ser analizados, las zonas de producción y consumo que constituyen la región bajo estudio, así como la demanda de cada producto, es decir, las cantidades de cada producto a ser transportadas de una zona a otra (de un centroide a otro). Para propósito de planeación estratégica, la demanda de transporte puede no considerarse individualmente para cada posible nodo de la red, ya que de hacerse con tal nivel de desagregación esto generaría grandes e inmanejables matrices O-D, desbordando el tamaño del modelo y el tiempo de cómputo requerido por los algoritmos sin mejorar necesariamente los resultados y pronósticos obtenidos. En vez de lo anterior, se definen zonas que abarcan varios nodos en áreas geográficas contiguas, y la demanda de transporte es agregada de acuerdo con esas zonas. Así, cada zona es representada en la red por un centroide.

Los elementos de oferta y demanda interactúan a través de dos tipos de elementos: vehículos y funciones. Los vehículos, a veces agrupados en convoyes, tienen la función de realizar las operaciones de transporte requeridas para satisfacer la demanda. Por tanto, para propósitos de planeación, el STAN requiere se definan vehículos y convoyes para cada producto y modo de transporte. Mediante las funciones se capturan los criterios para determinar cómo se desplaza el tránsito sobre la red, y pueden ser factores referentes a costos y tiempo de viaje, fenómenos de congestionamiento, requisitos ambientales, precios de energía o combustible, o cualquier otra medida de comportamiento.

El STAN realiza una asignación multimodal y multiproducto que simula el comportamiento del tránsito y del sistema de transporte, es decir, cómo se satisface la demanda al desplazar las cantidades de diferentes tipos de

productos especificadas en las matrices origen-destino (O-D), sobre la red multimodal de acuerdo con un determinado criterio cuantificado a través de las funciones. Utiliza el criterio de asignar los flujos en las matrices O-D sobre la red considerada, de tal manera que se minimice el costo total de transporte de dichos flujos, calculando dicho costo de acuerdo con los criterios contenidos en las funciones (costos y tiempo de viaje, congestionamiento, etc).

Los alcances de este trabajo, se limitan al modo de transporte carretero, en particular a la fracción de aproximadamente 52,000 km más importante de la RCF para el autotransporte de carga.

En STAN una red se define por modos, nodos y arcos (que constituyen la red base), transbordos, productos, vehículos y conjuntos de funciones. Todos estos elementos están ordenados en una jerarquía bien definida. Tres tipos de atributos se asocian con ellos: atributos estándar (p ej, coordenadas de los nodos, longitud de los arcos, etc), atributos de usuario y atributos extra (los cuales son definidos por el usuario) y resultados de asignación (después de que una asignación ha sido realizada).

Contiene un editor de red, con todas las herramientas requeridas para la manipulación y el despliegue de los elementos de la red y sus atributos. Algunos módulos permiten diferentes tipos de manipulación de un tipo de elemento en particular. Otros proporcionan funciones que suelen ser utilizadas con varios tipos de elementos.

Entre las funciones que se pueden realizar en los módulos del editor de red de STAN, se tienen: I) modificación de los modos, II) productos, III) vehículos, y IV) conjuntos de funciones.

La red base puede ser introducida y modificada utilizando entradas por lotes (archivos “batch”), o interactivamente, con una hoja de trabajo gráfica. Las modificaciones interactivas pueden registrarse en un archivo de trascripción, y ser usado para actualizar otros escenarios, o para deshacer algunas modificaciones.

Pueden desplegarse varios esquemas gráficos de la red base. Al mismo tiempo que obtener resultados y reportes.

Los transbordos pueden ser introducidos y modificados mediante una entrada por lotes o de manera interactiva.

En STAN es factible desplegar diversos diagramas de redes que resaltan nodos de trasbordo, así como todos o un subconjunto seleccionado de transbordos definidos en nodos individuales. Además, se pueden obtener reportes y resultados, también trazar rutas más cortas en la red base. El usuario selecciona la subred modal a ser considerada en el cálculo de la ruta más corta, y los movimientos intermodales son considerados si los transbordos apropiados han sido definidos.

El calculador de la red permite el acceso sistemático a la modificación de la mayoría de los atributos de la red mediante expresiones de evaluación, que involucran atributos de la red a través de la copia de estos desde otro escenario, y por medio de la lectura de un atributo desde un archivo de entrada por lotes.

Pueden generarse diagramas de dispersión de la red, los cuales son diagramas X-Y, donde los dos ejes corresponden a dos atributos elegidos de la red. Un esquema de consultas hace posible inspeccionar, contar excluir o marcar un punto, o un grupo de puntos en el diagrama de dispersión.

Se debe señalar que los mismos tipos de atributos y palabras clave están disponibles en los cálculos de redes y diagramas de dispersión.

Se cuenta con una tabla de atributos extra que puede ser manipulada. Los atributos extra pueden ser creados o borrados, y su descripción y valor por omisión pueden ser modificados.

Es factible crear diversos diagramas de redes con los módulos del editor de red. La información mostrada por estos diagramas (atributos de arco, ruta más corta, etc) depende del módulo. Sin embargo, la mayoría de los diálogos, comandos gráficos y parámetros utilizados en estos módulos, son los mismos.

En los módulos del editor se pueden producir gráficas donde el valor de los atributos desplegados se representa por barras (o círculos) proporcionales a los valores. Estos módulos involucran diálogos, comandos gráficos y parámetros de módulo.

STAN construye de manera automática y actualiza una red simple, la que refleja la conectividad de la red base. La red simple está formada por nodos de la red base, y un conjunto de arcos que indican en un momento que existe una conexión directa para cualquier modo entre dos nodos. Por ello,

solamente puede existir un arco simple en cada dirección, entre dos nodos y es creado por STAN tan pronto como sea definido por lo menos una conexión modal entre dos nodos. El usuario puede desplegar la red simple y utilizar sus atributos para los cálculos de la red, almacenamiento de datos y para los diagramas de dispersión; el usuario no puede, sin embargo, introducir la red simple, ni modificar directamente su trazo.

3.4 EECAN

Este estudio se lleva a cabo a través de la instalación, durante una semana aproximadamente, de estaciones de exploración en diferentes sitios de la RCF. Se ha venido realizando anualmente desde 1991. Cada año se instalan entre 10 y 20 estaciones.

En las estaciones de exploración se obtienen datos de los vehículos de carga circulantes por ellas, tales como sus características físicas (peso y dimensiones), tipo y peso de las mercancías que se transportan, cuál es su origen y su destino, edad de los vehículos, tipo de combustible que emplean, sistema de empaque de la carga transportada, tipo de comercio al que pertenecen las mercancías (doméstico o internacional de importación o exportación), etc. A partir de esta información es factible obtener otros datos tales como porcentaje de vehículos vacíos, valor económico de la carga transportada, etc. Actualmente (2001), se cuenta con la información anterior para alrededor de 120 estaciones, en las cuales se han explorado del orden de un millón de vehículos. La información O-D que se maneja en este trabajo proviene de las estaciones instaladas entre 1997 y 2001.

3.5 VOC

El paquete de cómputo que se utilizará para obtener los COV's de los vehículos de autotransporte de carga; en la Red Federal de Carreteras, es el denominado VOC. Dicho paquete fue elaborado por el Banco Mundial con el propósito de proporcionar a los planeadores una herramienta que genere información de COV's que contribuya a una confiable evaluación técnica y económica de sus opciones de inversión. Este paquete, estructurado por el Banco Mundial, se basó en diversos estudios de diferentes países, de los cuales algunos cuentan con sistemas de transporte carretero con condiciones similares a los de México, como es el caso de Brasil.

Dichos estudios se refieren a una serie de modelos matemáticos para diferentes configuraciones vehiculares que van desde automóviles hasta

camiones de pasajeros y de carga. Algunos de los modelos generados son: I) de consumo de combustibles, II) de consumo de lubricantes, III) de consumo de llantas, IV) de salario de tripulantes, V) de mantenimiento vehicular (incluye mano de obra y refacciones), VI) de depreciación del vehículo, etc. En casi todos los casos, el VOC utiliza valores y modelos matemáticos generados en Brasil.

La función del modelo VOC es simular los efectos de las características físicas y condiciones del camino en las velocidades de operación de varios tipos de vehículos, en sus consumos de combustibles y lubricantes, en sus requerimientos de mantenimiento, etc, y determinar sus costos totales de operación, para lo cual requiere que sean introducidos previamente algunos costos unitarios (p ej, de combustibles, lubricantes, llantas, etc). Para esto, el modelo calcula las cantidades consumidas de recursos, tales como litros de combustible, número de llantas, horas-hombre (h-h) de trabajo, etc, así como la velocidad del vehículo como función de las características de cada tipo de vehículo y la geometría, tipo de superficie y condición actual del camino.

Los pasos seguidos por el modelo en el cálculo de la velocidad, uso de recursos y costos de operación para un tipo de vehículo dado y una sección de camino determinada, son:

Calcular la velocidad de operación promedio para el vehículo seleccionado.
Calcular las cantidades de recursos utilizadas por cada 1,000 vehículos-kilómetro (veh-km) para los siguientes componentes:

- Consumo de combustibles
- Consumo de lubricantes
- Consumo de llantas
- Tiempo de los tripulantes
- Tiempo de los pasajeros
- Tiempo o retención de la carga
- Mano de obra o de mantenimiento
- Refacciones
- Depreciación
- Interés

- Indirectos

Aplicar costos unitarios a las cantidades consumidas de recursos para obtener el costo de operación por cada 1,000 veh-km para cada componente.
Sumar los costos de operación para cada componente con el fin de calcular el costo de operación vehicular total por cada 1,000 veh-km.

Capítulo 4. Desarrollo del Modelo Físico de la Red

En este capítulo se describe la construcción de la red considerada y se describe el proceso para suministrar al STAN las especificaciones y propiedades de sus modos, centroides, nodos, arcos, transferencias, etc. Como se indicó, este proceso se apoya en un sistema de información geográfica (SIG) en ArcView. El Modelo Físico de la Red fue construido bajo el principio de que sus arcos fuesen los mismos que los de la clasificación de Carreteras Federales de la DGST de la SCT (DGST, 1998).

4.1 Construcción del modelo geográfico en arcview

4.1.1 Importación de archivos originales

Para la construcción del modelo de la red, inicialmente se creó un proyecto específico en ArcView ("Red.apr"). Dentro de este proyecto se generó una vista denominada Red Carretera Federal, añadiendo a ella conjuntos de rasgos geográficos importados de coberturas de ArcInfo del SIGET. En ArcView, cada uno de estos conjuntos se maneja en un archivo diferente denominado tema. Dichos archivos contienen en su nombre la extensión "shp", que es un distintivo para identificar los archivos que se encuentran en el formato de datos espaciales de ArcView ("shapefiles"). Los archivos importados del SIGET para la elaboración del modelo de red en este trabajo, son:

Red_continua.shp. En este archivo, cada registro corresponde a un rasgo espacial del tipo polilínea (poligonal abierta), que representa un tramo carretero según la clasificación de carreteras de la DGST de la SCT (DGST, 1998). En esta clasificación, la RCF se divide en 147 rutas, éstas en 561 carreteras y a su vez en 2,538 tramos. Por tanto, este tema fue importado con 2,538 registros, así como con los siguientes cuatro campos: i) un identificador del tipo de rasgo espacial (en este caso poligonal abierta o polilínea); ii) un identificador único de tramo, constituido por un número de dos dígitos dado al estado en el que se encuentra el tramo, más un número de cinco dígitos dado a la carretera en la clasificación de la DGST, más un número de dos dígitos dado a cada tramo de esa carretera según su ubicación dentro de la secuencia kilométrica de la misma; iii) la longitud del tramo determinada por ArcView; y iv) una clave almacenada en el campo “tipo”, sea “f” o “a”, para tramos denominados Federal Libre o Federal de Cuota, respectivamente. En este tema también se incluyeron las autopistas concesionadas, a cuyos tramos se les denominó “concesionado”, asignándoseles la clave “**c**” en el campo “tipo”.

Estatales.shp. En este archivo, cada registro corresponde a una poligonal abierta que representa un tramo de carretera estatal. En general, estas vías no se incluyen en la modelación, con excepción de 88 tramos de ellas que se utilizan para dar continuidad a la red modelada. Con el fin de incluir estas últimas fue necesario copiarlas de este tema y pegarlas en el tema "red_continua.shp", en el cual recibieron la denominación "estatal", asignándoseles la clave "**e**" en el campo "tipo". Las redes estatales también fueron utilizadas como referencia geográfica para agregar algunos centroides o conectores de centroides.

Loc15000.shp. Cada registro corresponde a un punto que indica la ubicación física de una localidad de 15,000 ó más habitantes . Este archivo se importó con 462 registros, así como con los siguientes cuatro campos: i) un identificador del tipo de rasgo espacial (en este caso punto), ii) el nombre de la localidad, iii) el estado en el que se encuentra la localidad, y iv) la población de la localidad.

Cabe.shp. En este archivo, cada registro corresponde a un punto que indica la ubicación física de una cabecera municipal. Este archivo se importó con 1,570 registros, así como con tres campos correspondientes a los tres primeros campos del tema anterior.

Limites.shp. En éste, cada registro corresponde a un polígono que representa un estado de la República Mexicana, por lo cual contiene 32 registros. Fue importado con un campo para almacenar un identificador del tipo de rasgo espacial (en este caso polígono).

Una vez importados los temas anteriores y desplegados, se obtuvo el mapa que se ilustra en la fig 4.1. La Tabla de Contenidos, a la izquierda del mapa, indica los temas incluidos en la vista. Asimismo, con una marca a la izquierda de sus letreros descriptivos o leyendas, se señalan los temas desplegados o dibujados en la vista. En ArcView los temas marcados son dibujados de abajo hacia arriba según se listan en la tabla de contenidos. El conjunto de los temas anteriores conforma la cartografía básica a partir de la cual se generó el Modelo Físico de la Red seleccionada. Adición de Tramos Urbanos y Suburbanos

4.1.2 Adición de tramos urbanos y suburbanos

Como se ha venido diciendo, a la información geográfica importada se le añadieron los tramos urbanos y suburbanos necesarios para dar continuidad a la red modelada a través de las trazas viales de las

principales ciudades y poblaciones. Esta información se obtuvo de archivos electrónicos de SIG's existentes para esas trazas (IMT, 1999). El procedimiento seguido consistió en: I) importar a ArcView los temas para armar la vista de dichas trazas, II) cortar de dichos temas las vialidades consideradas como relevantes de adicionar, y III) pegarlas en el tema Red_Continua.shp de la vista Red Carretera Federal, ajustándolas previamente a la escala o proyección de esta última.

Al haberse añadido según este procedimiento 327 tramos urbanos o suburbanos, se obtuvo una red resultante, hasta este momento de 2,953 tramos. A cada uno de estos nuevos tramos añadidos se le denominó "Urbana", asignándosele además la clave "**u**" en el campo "tipo" del tema Red_Continua.shp.

4.1.3 Incorporación de centroides y conectores

A partir de los centroides empleados en un trabajo de modelación similar de hace algunos años (Gil Anaya Claudia Z, et al, 1999) y de las localidades de más de 15,000 habitantes reportadas por el Instituto Nacional de Geografía Estadística e Informática (INEGI) (INEGI, 1995), fueron seleccionados 573 centroides distribuidos en todo el país.

De hecho, los 573 centroides seleccionados son la unión de los dos conjuntos de localidades anteriores. Como resultado de esta unión, se generó un nuevo tema de rasgos espaciales tipo punto, denominado "centroides.shp", conteniendo la ubicación geográfica de los 573 centroides. En el trabajo de modelación realizado hace algunos años, se utilizaron 517 centroides. Éstos correspondieron a las localidades mencionadas como origen o destino, en el 90% de los viajes registrados en las estaciones del EECAN, ya comentado en el Cap II, e instaladas entre 1990 y 1994.

Cabe señalar que en el 10% restante de los viajes registrados, los sitios de origen o destino fueron excesivamente variados, por lo cual dichos viajes se incluyeron refiriéndolos con un criterio de cercanía geográfica, a los 517 centroides seleccionados. La ubicación de estos centroides en la vista Red Carretera Federal del sistema, se apoyó en las cabeceras municipales contenidas en el tema "Cabe.shp".

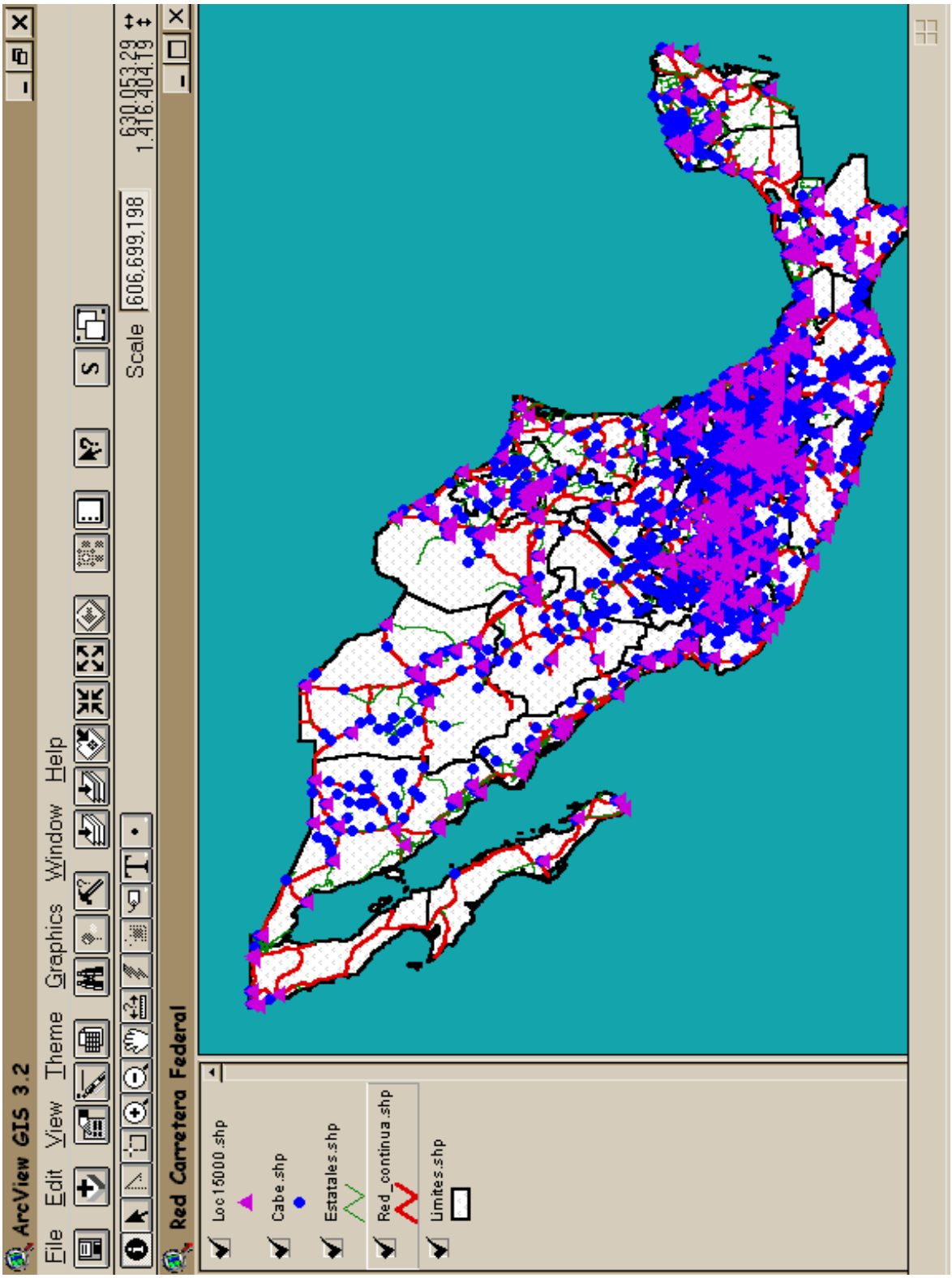
ArcView GIS 3.2
File Edit View Theme Graphics Window Help
Scale 606,699,198
630,053.29
1,416,404.19
Red Carretera Federal
Loc15000.shp
Cabe.shp
Estatales.shp
Red_continua.shp
Limites.shp

Fig 4.1. SIGET

En relación con las localidades de más de 15,000 habitantes reportadas por el INEGI para 1995, éstas dieron un total de 462, contándose ya con su archivo electrónico en el sistema al haber sido importado como uno de los archivos originales (Loc15000.shp), según ya se indicó.

En el Anexo B se enlistan, por estado de la República, los 573 centroides seleccionados para este trabajo; para cada uno se incluyeron en el tema Red_Continua.shp, uno o más tramos a manera de conectores de dichos centroides con la red de transporte modelada. En total se incluyeron 633 conectores, con lo cual el tema Red_Continua.shp alcanzó 3,586 registros, es decir, una red hasta ahora modelada de 3,586 tramos, incluyendo conectores. A cada uno de estos últimos se le denominó "conector", asignándosele además la clave "**x**" en el campo "tipo" de dicho tema.

4.1.4 Depuración de la red

De cómo fue importada del SIGET la red considerada, incluía algunas imperfecciones, cuya corrección es indispensable en la construcción del Modelo Físico; las más importantes se refieren a discontinuidades inexistentes en la realidad (p ej, entre límites de estados), así como a la falta de intersección en muchos de los cruces entre carreteras en los que efectivamente la hay. Por tanto, fue necesario efectuar las correcciones correspondientes.

El primer tipo de imperfección (discontinuidades inexistentes en la realidad) fue corregido manualmente con ArcInfo, utilizando las herramientas de éste para la identificación de discontinuidades ("dangles"), y para la edición de rasgos geográficos.

Para corregir el segundo tipo de imperfección (falta de intersección en muchos cruces entre carreteras en los que efectivamente la hay), fue necesario someter la red a ciertos procesos de ArcInfo, que implican la re-segmentación de los tramos cada 500 cambios consecutivos de dirección ("vértices") y cuando se presenta un cruce entre carreteras. El archivo de la red segmentada de esta manera en ArcInfo, se denominó Redarc.

A partir de Redarc se creó en ArcInfo un archivo de arcos (rasgos espaciales tipo línea) en formato de ArcView, denominado Redav.shp. Posteriormente, a partir de Redav.shp, se realizó la restitución de la segmentación a nivel de tramos de la clasificación de carreteras de la DGST (con excepción de aquellos que deben quedar divididos por la introducción de una nueva intersección), mediante un conjunto de programas ("scripts")

elaborados en Avenue (ESRI, 1996b), que es el lenguaje de programación de ArcView. Los "scripts" generados para este fin se presentan en el Anexo A. Cabe señalar que en la segmentación resultante, el Modelo Físico quedó constituido por 4,509 tramos o arcos.

4.1.5 Generación del tema de nodos

También a partir de Redarc, se creó en ArcInfo un archivo de nodos (rasgos espaciales, tipo punto) en formato de ArcView, denominado "Redavnodos.shp". En éste quedó definido un nodo en cada extremo de cada arco de la red contenida en el archivo "Redarc" (segmentada a cada 500 vértices y cuando se presenta un cruce entre carreteras). Por tanto, de igual manera que para los arcos fue necesario hacer congruente el sistema de nodos en "Redavnodos.shp", con la segmentación a nivel de tramos de la clasificación de carreteras de la DGST Lo anterior también mediante un conjunto de programas ("scripts") elaborados en Avenue. El Anexo A incluye los "scripts" generados para este fin.

Posteriormente el tema "Centroides.shp" fue unido espacialmente con el tema "Redavnodos.shp", vinculándose los atributos de los centroides en sus nodos correspondientes del tema "Redavnodos.shp", incluyendo un campo que almacena una variable que distingue los nodos que son centroide de los que sólo son nodos regulares. De esta manera, se generó un nuevo tema denominado "nodos.shp", mediante la integración de los temas Centroides.shp y Redavnodos.shp, conteniendo 3,698 rasgos espaciales tipo punto (573 centroides, y 3,125 nodos regulares).

Finalmente, mediante otro "script" se le dio un número único consecutivo a cada nodo del tema nodos.shp.

4.1.6 Redefinición del nombre de algunos elementos, y modelo final de red en ArcView

Con propósitos de agilizar el manejo de archivos, principalmente con fines de programación, así como de mejorar la presentación de vistas e imágenes del sistema manejado en ArcView, se consideró conveniente cambiar el nombre de algunos elementos (vistas, temas, etc.) según se indica a continuación:

- Vista “Red Carretera Federal”, se cambió a “Vista Red”.
- Tema “Red Continua.shp”, se cambió a “Arcos”.
- Como se mencionó, los temas “Cabe.shp” y “Loc15000” fueron sustituidos por el tema “Nodos.shp”, el cual, a su vez fue renombrado como “Nodos”.
- Tema “Limites.shp”, se cambió a “Limites”.

La fig 4.2 ilustra la vista “Vista Red” obtenida después de haber realizado los cambios anteriores. En la vista es evidente, en primer lugar, la red hasta ahora construida. La tabla de contenidos de la vista (la columna a la izquierda de la vista) incluye los temas “Nodos”, “Arcos” y “Limites”. En el primero, los nodos se clasifican en centroides y regulares. En el tema “Arcos”, estos se clasifican según los distintos tipos considerados (Federal Libre, Federal Cuota, Concesionado, Estatal, Urbano y Conector).

Debajo de la tabla de contenidos, y en la parte superior izquierda de la vista, se presenta un conjunto de botones que activan diferentes programas (o “scripts”) elaborados para la construcción de la red. El último botón de la barra de herramientas en la parte superior izquierda de la vista, ejecuta un programa que a partir del modelo elaborado en ArcView, genera un archivo con los datos necesarios para que STAN construya, en su ambiente la red a modelar. En el Anexo A se presenta el código de este último programa, el cual está aún pendiente de ser ejecutado, hasta después de haber integrado los archivos tabulares según se menciona en la sección siguiente.

4.1.7 Integración de datos adicionales requeridos

En ArcView, para cada tema, existe una Tabla de Atributos, o sea una base de datos que almacena en diferentes campos las características específicas de cada rasgo geográfico (en cada registro de dicha base).

Por requerimientos de la modelación en el STAN, es necesario que la tabla de atributos del tema de nodos (“Nodos”), y la del tema de arcos (“Arcos”) incluyan las variables indicadas en la tabla 4.1 para cada nodo, y en la 4.2 para cada arco. Con este fin se elaboraron dos bases de datos (tablas electrónicas), una para nodos y otra para arcos, en las que al lado del identificador único de cada elemento, se capturaron los valores de las variables respectivas. Dichos valores fueron obtenidos a partir de diversos archivos y mapas existentes en la SCT (SCT, 2000).

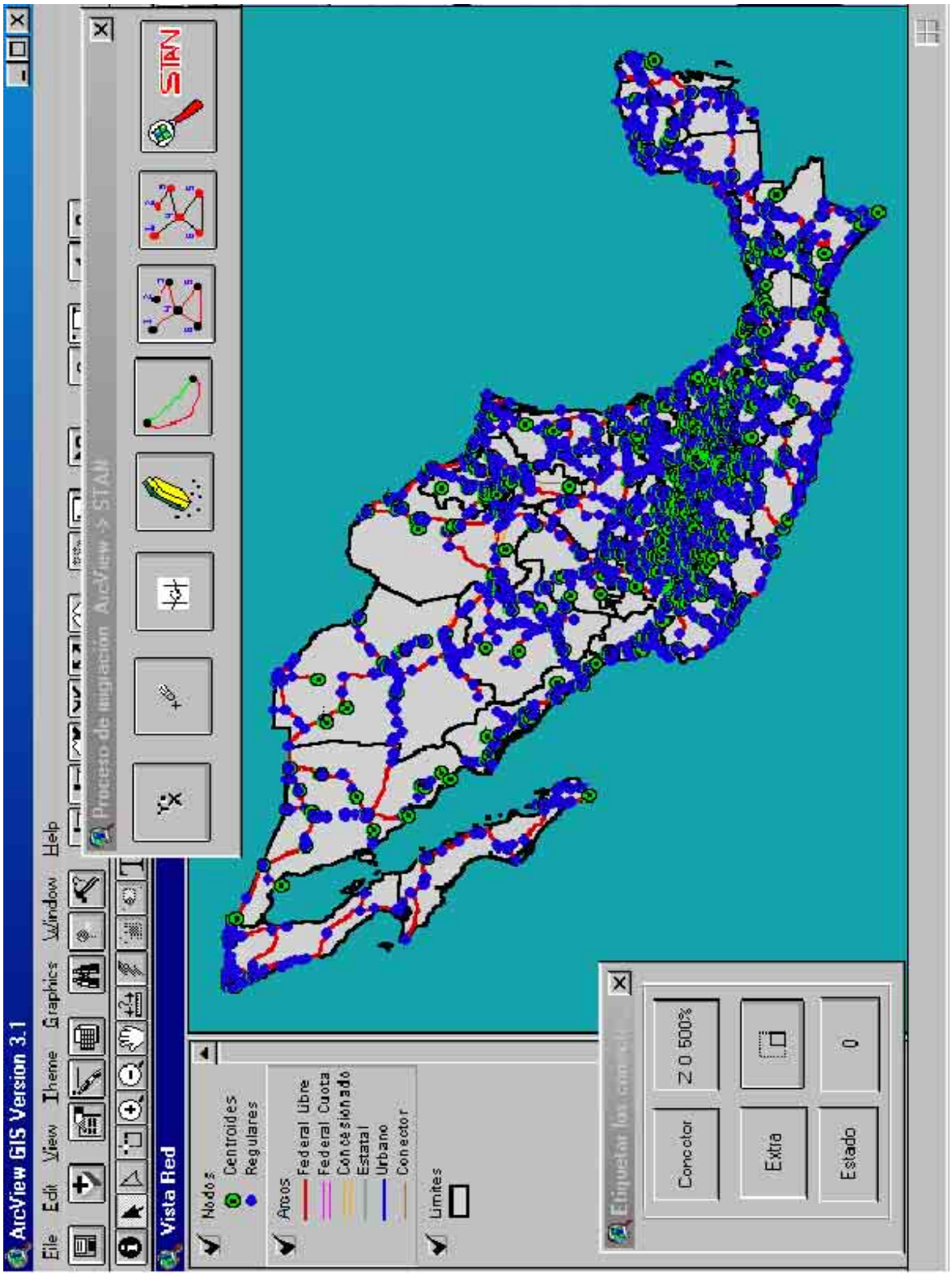

Fig 4.2. SIGET complementado

Tabla 4.1. Atributos de la cobertura de nodos.

Campo	Descripción
NodeNew	Número del nodo en el sistema.
Centroide	Indicador sobre si el nodo es o no un centroide de zona (1 ó 0).
X-coord	Coordenada X del nodo.
Y-coord	Coordenada Y del nodo.
Label	Etiqueta de cuatro caracteres con el nombre de los nodos que son poblaciones.
Ui1	Dato 1 definido por el usuario. No se le asignó valor.
Ui2	Dato 2 definido por el usuario. No se le asignó valor.
Ui3	Dato 3 definido por el usuario. No se le asignó valor.

Algunas consideraciones en relación con las variables incluidas en la tabla 4.1 de nodos, son:

La variable “Label” se obtuvo de truncar, a los primeros cuatro caracteres, los nombres de los centroides, almacenados en la variable “Localidad” del tema “Nodos“.

Las variables Ui1, Ui2 y Ui3 se utilizan para almacenar datos de los nodos, definidos por el usuario, tales como costo de transferencia en el nodo, población en el nodo, carga producida o atraída en el nodo, etc. En este trabajo no se utilizan las variables Ui1, Ui2 y Ui3, por lo cual no se les asignaron valores.

Algunas consideraciones en relación con las variables incluidas en la tabla 4.2 de arcos, son:

En la variable “Phil” se almacena, para arcos de autopistas de cuota, la parte proporcional de la cuota (en pesos de 2001) correspondiente al arco. Evidentemente, para carreteras libres se almacena un valor igual a 0.

La variable “UI1” almacena el COV, bajo condiciones de flujo libre (en pesos de 2001) para cada tramo. Éste se obtuvo de los resultados arrojados por un trabajo alterno (Leyva C, Juan R, 2002), el cual lo estima para cada tramo según la metodología del programa “Vehicle Operating Cost (VOC)” del Banco Mundial (Archondo-Callao, R, 1989), de acuerdo con las características físicas de los tramos contenidas en el SIGET (IMT 1999). Tanto el VOC como el SIGET ya fueron descritos en el Cap 3 (Antecedentes).

Tabla 4.2. Atributos de la cobertura de arcos.

Campo	Descripción
Fnodenew	Número del nodo inicial del arco.
Modo	Clave correspondiente al modo al que corresponde el tramo: “a” para autopistas de cuota, “c” para carreteras libres y “x” para conectores.
Tnodenew	Número del nodo final del arco.
Long_av	Longitud del arco (en metros).
Tipo	Clave correspondiente al tipo de carretera, ya sea “f” para federal libre, “a” para federal de cuota, “c” para concesionadas, “e” para estatales, “u” para urbanas y “x” para conectores.
fct_set	Número asignado al conjunto de funciones de costo que corresponden al arco; se utiliza 10 para autopistas de cuota, 20 para carreteras libres y 90 para conectores de centroide. Cada conjunto de funciones estará constituido por una función de costo de operación y otra de costo de demoras, según se indica más adelante.
Capacidad	Capacidad del arco en ambos sentidos, en vehículos ligeros equivalentes por día.
Beta	Coeficiente para considerar la resistencia tangencial generada por el peso del convoy en el modo ferroviario de acuerdo con la topología del terreno. Para el modo carretero, es igual a 1 para todos los arcos.
Phil	Esta variable se utiliza para almacenar la cuota (en pesos de 2001) cobrada en tramos de autopistas de cuota. En tramos de carreteras libres, esta variable almacena un valor igual a 0.
Mset	Subconjunto de modos que comparten la capacidad del arco. En esta modelación ningún arco comparte su capacidad entre varios modos, por tanto, según requerimientos del STAN, en este caso se ingresa el símbolo “#” (para todos los arcos).
Ul1	Dato 1 para arcos definido por el usuario. En esta variable se almacena el COV, bajo condiciones de flujo libre (en pesos de 2001), calculado según se indica en el texto.
Ul2	Dato 2 para arcos definido por el usuario. En esta variable se almacena, para cada tramo, la suma del TDPA más dos veces el flujo diario de autobuses, por lo explicado en el texto.
Ul3	Dato 3 para arcos definido por el usuario. En esta variable se almacena el flujo diario de camiones de carga en el tramo.

La asignación que se realiza en este trabajo, es de flujos diarios O-D de vehículos de carga sobre la capacidad remanente en cada tramo después de restarle a la capacidad total (Cap) los flujos diarios de automóviles (A) y autobuses (B). Si se consideran factores de equivalencia de 3 y 5 para autobuses y camiones de carga respectivamente (National Research Council 1985), dicha capacidad remanente en vehículos de carga (Cap’) puede expresarse como sigue:

$$Cap' = \frac{[Cap-(FPD)(A + 3B)]}{5} \qquad (4.1)$$

Donde Cap’, Cap, A y B, son como ya fueron definidos en el párrafo anterior, y FPD es el factor de flujo pico, definido como el cociente de la

intensidad vehicular de la hora de mayor flujo en el día entre la vigésimo cuarta parte del Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA). En este trabajo se toma un valor promedio nacional para FPD de 1.5 (SCT, 2000).

Si se considera que A = TDPA – B - C, donde C es el flujo diario de camiones de carga, entonces el factor (A + 3B) de la ecuación 4.1 es igual a TDPA + 2B – C. Así, el valor TDPA + 2B fue almacenado en el campo UI2, y C en el campo UI3.

Posteriormente ambas tablas fueron vinculadas a las tablas de atributos de los temas correspondientes, utilizando como elemento de vínculo el identificador de cada elemento. De esta manera quedó preparado en ArcView el sistema integral de la red a modelar para transferir al ambiente de STAN los datos necesarios de arcos y nodos,. para que este último pueda interpretar la topología de dicha red. Es también necesario especificar las posibilidades de transferencia entre modos, en los nodos en que esto sea posible.

4.2 Generación de archivos de stan para arcos, nodos y transferencias

En el STAN, todos los datos de un tipo de elemento (arco, nodo, transferencia, etc) pueden ingresarse interactivamente o en lote (“batch”). Para arcos, nodos y transferencias entre modos, conviene ingresar sus datos en la modalidad de lote, ya que en problemas reales como el que se aborda en este trabajo, su número suele ser muy grande.

Enseguida se describe la generación, a partir del sistema geográfico ya desarrollado (en el proyecto de ArcView “Red.apr”), de los archivos para lectura por lote por el STAN para arcos y nodos (“d211.in”), así como para transferencias entre modos (“d221.in”), quedando listos dichos archivos, y ser leídos al STAN según se indica en la Sec 3.5.

4.2.1 Arcos y nodos

Es necesario generar un sólo archivo de texto que integre la información requerida para arcos y nodos. Esto se efectuó mediante un programa (“script”) elaborado en Avenue, el cual se presenta en el Anexo A. Este programa obtiene del tema “Nodos” del sistema geográfico, los datos indicados en la tabla 4.3, primero para los centroides y después para los nodos regulares, procediendo a escribir dichos datos en un archivo de texto denominado “d211.in“, en el formato también indicado en la tabla 4.3.

Posteriormente el "script" realiza el mismo proceso para los arcos, tomando en este caso la información del tema "Arcos" del sistema geográfico, adicionando en el archivo "d211.in" los datos de la tabla 4.4, en el formato también mostrado en ésta.

En el archivo "d211.in" resultante, quedó integrada la información de 3,728 nodos (573 centroides y 3,155 nodos regulares), y 8,990 arcos de un sólo sentido. Este último número es el doble de 4,495, que es el número de arcos de dos sentidos (bidireccionales) en el sistema geográfico (361 correspondientes a autopistas de cuota, 3,493 a carreteras libres, y 633 a conectores; de los 343 arcos de autopistas de cuota, 120 corresponden a autopistas federales y 241 a concesionadas; de los 3,493 arcos de carreteras libres, 3,090 corresponden a federales libres, 83 a estatales y 320 a urbanas), ya que la modelación en el STAN debe realizarse a través de arcos de un sólo sentido (unidireccionales). Por esta razón, para cada arco bidireccional en el sistema geográfico, el "script" mencionado tuvo que definir en "d211.in" un arco para cada sentido. A cada uno de estos dos arcos unidireccionales se les asignó (en las variables cap, ul2, ul3 y ul1, respectivamente) la mitad de la capacidad de su arco bidireccional en el sistema geográfico y de los valores en las variables Ul2 y Ul3, así como el mismo COV, bajo condiciones de flujo libre (en la variable Ul1).

Tabla 4.3. Campos necesarios de nodos para STAN.

Campo	Clave	Tipo	Contenido	Descripción
1			a, d, ó m	Código de actualización; en este caso sólo se usó "a" ("add"); "d" significa "delete" y "m" "modify"
2		Alfanumérico	* ó blanco	Indicador de centroide
3	I=	Entero	1 – 999,999	Número de nodo
4	xi=	Real		Coordenada X del nodo
5	yi=	Real		Coordenada Y del nodo
6	ui1=	Real		Dato 1 definido por el usuario
7	ui2=	Real		Dato 2 definido por el usuario
8	ui3=	Real		Dato 3 definido por el usuario
9	lab=	Alfanumérico	Hasta 4 caracteres	Etiqueta opcional para el nodo

4.2.2 Transferencias

Con el fin de permitir la continuidad de los flujos a través de las subredes de los distintos modos (autopistas de cuota, federales libres y conectores), es necesario definir las transferencias correspondientes en los nodos en donde inciden arcos de dos o más modos.

Tabla 4.4. Campos necesarios de arcos unidireccionales para STAN

Campo	Clave	Tipo	Contenido	Descripción
1			a, d, ó m	Código de actualización; en este caso se utiliza “a”
2	i=	Entero	1 – 999,999	Nodo inicial del enlace
3	mod=	Alfanumérico	Una letra	Letra para el modo del enlace
4	j=	Entero	1 – 999,999	Nodo final del enlace
5	len=	Real	> 0 ó *	Longitud del enlace
6	typ=	Entero	1 – 999	Tipo de enlace
7	fct=	Entero	0 – mlfct	Número de conjunto de funciones de costo del enlace, igual a 10 para autopistas de cuota, 20 para carreteras libres y 90 para conectores de centroide (según se indicó en la Tabla 4.2)
8	cap=	Real	> = 0	Capacidad del enlace
9	beta=	Real	> = 0.01	Coeficiente del enlace
10	phil=	Real		Coeficiente especial del enlace
11	mset=	Alfanumérico	1 – 30 caracteres	Subconjuntos de modos que comparten la capacidad del enlace
12	ul1=	Real		Dato 1 definido por el usuario
13	ul2=	Real		Dato 2 definido por el usuario
14	ul3=	Real		Dato 3 definido por el usuario

La especificación de transferencias en el STAN puede hacerse manualmente o en lote. Como generalmente las transferencias a especificar son muchas en el caso de problemas reales, uno de ellos el que se aborda en este documento, lo más conveniente es alimentar su especificación en el STAN por lote. Por tanto, de manera similar que para los arcos y los nodos debe elaborarse un archivo de texto que contenga la especificación de todas las transferencias, en el formato que el STAN requiere para leer esa información.

El archivo anterior, denominado ”d221.in”, se preparó a partir de la información en los temas “Nodos” y “Arcos” del sistema geográfico, también mediante un “script“ elaborado para ese fin. Ese “script” va tomando consecutivamente cada nodo del tema “Nodos”, y para cada uno de ellos identifica, en el tema “Arcos”, los arcos que inciden en él, comparándolos posteriormente en pares para identificar si corresponden a modos distintos o no. Para todos los casos en los que ocurre lo primero, el “script” procede a especificar la transferencia correspondiente en el archivo ”d221.in”. En la tabla 4.5 se describen los datos que deben ingresarse para cada transferencia, así como su formato. Cabe señalar que, al igual que para el caso de los arcos, para las transferencias también se necesita una especificación para cada dirección. Por esta razón, el “script” mencionado,

una vez que especifica una transferencia en el archivo “d221.in”, procede también a realizarlo para el sentido opuesto.

Después de realizado el proceso anterior, el archivo “d221.in” resultante quedó integrado con la información de 4,516 transferencias unidireccionales entre modos.

Tabla 4.5. Campos necesarios de transferencias para STAN

Campo	Clave	Tipo	Contenido	Descripción
1			a, d ó m	Código de actualización; en este caso se utiliza “a”
2	Atn=	Entero	1 – 999,999	Nodo donde se realiza la transferencia
3	Fn=	Entero	1 – 999,999	Nodo inicial del arco desde el que se realiza la transferencia
4	Fm=	Alfanumérico	Una letra	Modo del arco en el campo anterior
5	Tn=	Entero	1 – 999,999	Nodo final del arco hacia el que se realiza la transferencia
6	Tm=	Alfanumérico	Una letra	Modo del arco en el campo anterior
7	Fct=	Entero	0 – mtfct	Número de conjunto de funciones de costo de la transferencia; se utiliza 1 para todos los casos
8	Phit=	Real		Coeficiente especial de transferencia
9	ut1=	Real		Dato 1 definido por el usuario
10	ut2=	Real		Dato 2 definido por el usuario
11	ut3=	Real		Dato 3 definido por el usuario

4.3 Integración de datos en stan

4.3.1 Creación y dimensionamiento del banco de datos de STAN

Lo primero que debe realizarse en el STAN para una aplicación determinada, es crear su banco de datos y especificar las dimensiones máximas del mismo. Esto se realiza mediante la instrucción “stan newbank”, la cual activa una serie de preguntas dirigidas al usuario en relación con dicho dimensionamiento. Para la aplicación considerada en este trabajo, esas preguntas en general fueron contestadas con una opción de “default” que el STAN ofrece para cada una de ellas. De esta manera, para las diversas variables, el tamaño máximo del banco de datos quedó definido con: I) 85 escenarios, II) 800 zonas y centroides, III) 4,800 nodos y centroides, IV) 16,000 arcos, V) 16,000 transferencias entre modos, VI) 30 modos, VII) 12 productos, VIII) 99 matrices O-D completas (así como 99 de origen, 99 de destino y 99 escalares), IX) 299 funciones de costo por clase de función, X) 6000 operadores por clase de función, XI) 1,200 conjuntos de funciones de costo para arco, y XII) 1,200 conjuntos de funciones de costo

para transferencia entre modos. No se especificó tabla de atributos adicionales para los elementos de la red (nodos, arcos, etc). Asimismo, se especificó el siguiente título para el proyecto FLUJOS MULTIPRODUCTO DEL AUTOTRANSPORTE DE CARGA.

Varias de las variables anteriores ya han sido definidas, en tanto que otras lo serán más adelante. Es evidente que los límites máximos definidos para ellas son mayores que los que se tienen para las mismas para el caso que se desea modelar (p ej, 800 zonas y centroides de límite máximo contra 573 que realmente se tienen; 4,800 nodos y centroides de límite máximo contra 3,728 que se tienen; 16,000 arcos de límite máximo contra 8,990 que se tienen, etc).

Posteriormente el STAN activa un sistema de menús a través del cual funciona. El primero de ellos permite seleccionar o iniciar un subproyecto o escenario de trabajo. En este caso, el escenario iniciado se denominó 2001, ESCENARIO BASE.

El ingreso de datos en el STAN puede realizarse interactivamente o por lote ("batch"). En uno u otro caso, el STAN tiene una serie de menús que permiten ingresar la información del tipo de elemento de que se trate (modos, arcos, nodos, transferencias, etc). Enseguida se describe, consecutivamente, el ingreso al STAN de los datos de los distintos tipos de elementos que constituyen el modelo físico de la red a modelar.

4.3.2 Especificación de modos

Se especificaron interactivamente tres modos, uno para autopistas de cuota (a), otro para carreteras libres (c), y otro para conectores (x).

Para cada modo debe especificarse una denominación o descripción, un tipo de línea, un color de línea, un factor especial (llamado "phim") que puede utilizarse para afectar de manera diferente los costos de cada modo, así como tres datos de modo definidos por el usuario (um1, um2 y um3).

En este caso, para los tres modos considerados se especificó línea sólida (tipo 1). Asimismo, color verde (3) para las autopistas de cuota; rojo (2) para las carreteras libres, y negro (1) para los conectores. Para el factor phim se especificó un valor de 1 para los tres modos. En este trabajo no se utilizan los tres datos de modo definidos por el usuario, por lo cual no se les asignaron valores.

4.3.3 Especificación de productos

Se especificaron interactivamente los siguientes diez productos, o grupos genéricos de productos:

- Forestales
- Agrícolas
- Animales y derivados
- Minerales
- Petróleo y derivados
- Inorgánicos
- Industriales
- Otros
- Vacíos
- Carga agregada

Estos productos se seleccionaron de acuerdo con trabajos anteriores anteriormente (Trejo R, Juan Manuel, et al, 1999), los primeros ocho grupos anteriores corresponden a la clasificación genérica de mercancías del Estudio Estadístico de Campo del Autotransporte Nacional (EECAN) (Gutiérrez, H, J L, et al, 1999), descrito en el Cap 3, donde la información O-D para el desarrollo de este trabajo se toma a partir de ese estudio. Los grupos 9 y 10 corresponden a “Vacíos” y ”Carga agregada”, respectivamente.

Para cada producto debe especificarse un número de producto, una denominación, así como tres datos de producto definidos por el usuario (up1, up2 y up3). En este caso, para los diferentes productos se especificaron los mismos números y denominaciones indicados arriba. Los tres datos de producto definidos por el usuario no se utilizan en este trabajo, por lo cual no se especifican valores para ellos (se quedan con valor igual a 0).

4.3.4 Especificación de vehículos

Por requerimientos del STAN, se especificó interactivamente un vehículo estándar para cada combinación de tipo de producto y modo.

Para cada una de las combinaciones anteriores deben especificarse: I) el peso promedio de carga útil transportado por vehículo, II) el peso propio del vehículo, III) el peso del convoy, o suma de los dos elementos anteriores en el caso del autotransporte, y IV) tres datos de vehículo definidos por el usuario.

En este trabajo, para los tres modos y los ocho primeros tipos de productos, se especificaron valores iniciales de carga útil transportada por vehículo, y peso propio vehicular de 17.5 y 12.5 ton respectivamente; para “Vacíos” se definieron valores de 0.01 y 12.51 ton para esos dos parámetros; para “Carga agregada” valores de 9.05 y 12.5 ton para los mismos; para todos los productos se especificaron pesos de convoy correspondientes a la suma de ambos parámetros anteriores. Todos estos datos son valores promedio de los vehículos de carga explorados en cincuenta estaciones del EECAN, cuya información se utiliza para la integración de la matriz origen-destino, según el procedimiento que se describe detalladamente en el siguiente capítulo. Dichos datos se utilizaron como valores iniciales, que posteriormente fueron refinados según el proceso de calibración del modelo que también se describe en el capítulo siguiente.

Los tres datos de vehículo definidos por el usuario no se utilizan en este trabajo, por lo cual no se especificaron valores para ellos.

4.3.5 Especificación de conjuntos de funciones de costo

En este trabajo se utilizan los siguientes números de conjuntos de funciones de costo: 10 para autopistas de cuota, 20 para carreteras libres, 90 para conectores de centroide, y 1 para transferencias.

Por requerimientos del STAN, es necesario especificar los componentes que integran estos conjuntos de funciones, así como su asignación a los diferentes tipos de producto. Para cada combinación de componente y tipo de producto, debe especificarse la función a partir de la cual hay que calcular el costo correspondiente.

Por lo anterior, para cada número de producto se especificaron interactivamente tres números de funciones de arco para el modo ”Autopistas de Cuota” (101, 102 y 103), tres para “Carreteras Libres” (201, 202 y203) y tres para “Conectores” (901, 902 y 903). Esto se debe a que, como se mencionó en el Cap 1, en este trabajo se consideran tres componentes de costo (para los tres modos): uno, referente a cuota en autopistas de cuota; otro, a operación vehicular, y el último a demoras.

Para las “autopistas de cuota” y todos los tipos de productos con excepción de los vacíos (producto 9), se especificó que los componentes por cuota, operación vehicular y por demoras se calculasen a partir de las funciones con número 011, 012 y 013, respectivamente; para las “carreteras libres”, 021, 022 y 023; y para los “conectores”, 091, 092 y 093. Para el caso de los vacíos y las autopistas de cuota, se especificó que los componentes de costo por operación vehicular y por demoras se calculasen a partir de las funciones 014 y 015, respectivamente, y para los vacíos y las carreteras libres, que dichos componentes se calculasen a partir de las funciones 024 y 025.

Se introducen estas cuatro funciones específicas para vacíos con el fin de considerar que los dos tipos de componentes anteriores son menores cuando el vehículo viaja vacío que cuando va cargado; evidentemente el componente por cuota es el mismo si el vehículo va vacío o cargado, razón por la cual se especificó que, para vacíos, este componente debe calcularse a partir de las funciones 011 para autopistas de cuota y 021 para carreteras libres. Más adelante se presenta la ecuación de todas estas funciones.

También por requerimientos del STAN, se especificaron interactivamente para cada número de producto, tres números de conjunto de funciones de transferencia (11, 12 y 13). Asimismo, se determinó que los componentes por cuota, operación vehicular y demoras se calculasen a partir de una misma función de costo, con número 001. Más adelante se presenta la ecuación de esta función.

4.3.6 Lectura de archivos de arcos, nodos y transferencias

A partir de los módulos correspondientes en el menú de STAN, se leyeron en lote los archivos con las especificaciones de todos los nodos y arcos (“d211.in”) y todas las transferencias (“d221.in”), ya descritos.

4.3.7 Incorporación de límites geográficos y textos

El conjunto de polígonos dentro del tema “Limites” del sistema geográfico fue exportado a una cobertura de ArcInfo, en donde a través de un comando de este programa se generaron para cada polígono, las dos coordenadas (X y Y) de cada vértice, o punto de cambio de dirección. Esta información, fue organizada para cada polígono consecutivamente en un archivo de texto denominado “annot1”, el cual se copió posteriormente al mismo directorio del banco de datos. De esta manera, STAN dibuja

automáticamente los límites geográficos del país y de los estados, cada vez que despliega en pantalla la red modelada. Un procedimiento similar fue seguido para permitir el dibujo automático de ciertos títulos (p ej, encabezados de algunos desplegados, nombres de los centroides) al solicitarse determinados gráficos.

4.3.8 Generación de algunas representaciones gráficas en STAN

El STAN permite generar informes tabulares sobre cualquiera de los atributos que constituyen el modelo, tales como coordenadas de nodos y centroides, nodos de inicio y terminación de los arcos, etc. Asimismo, realizar representaciones gráficas de la red modelada, con diferentes niveles de detalle; por ejemplo, la fig 4.3 ilustra la red carretera considerada, incluyendo todos los tramos del modo carretero (autopistas y carreteras libres), además del sistema de centroides utilizado. Como es evidente, la figura también muestra los límites geográficos incorporados.

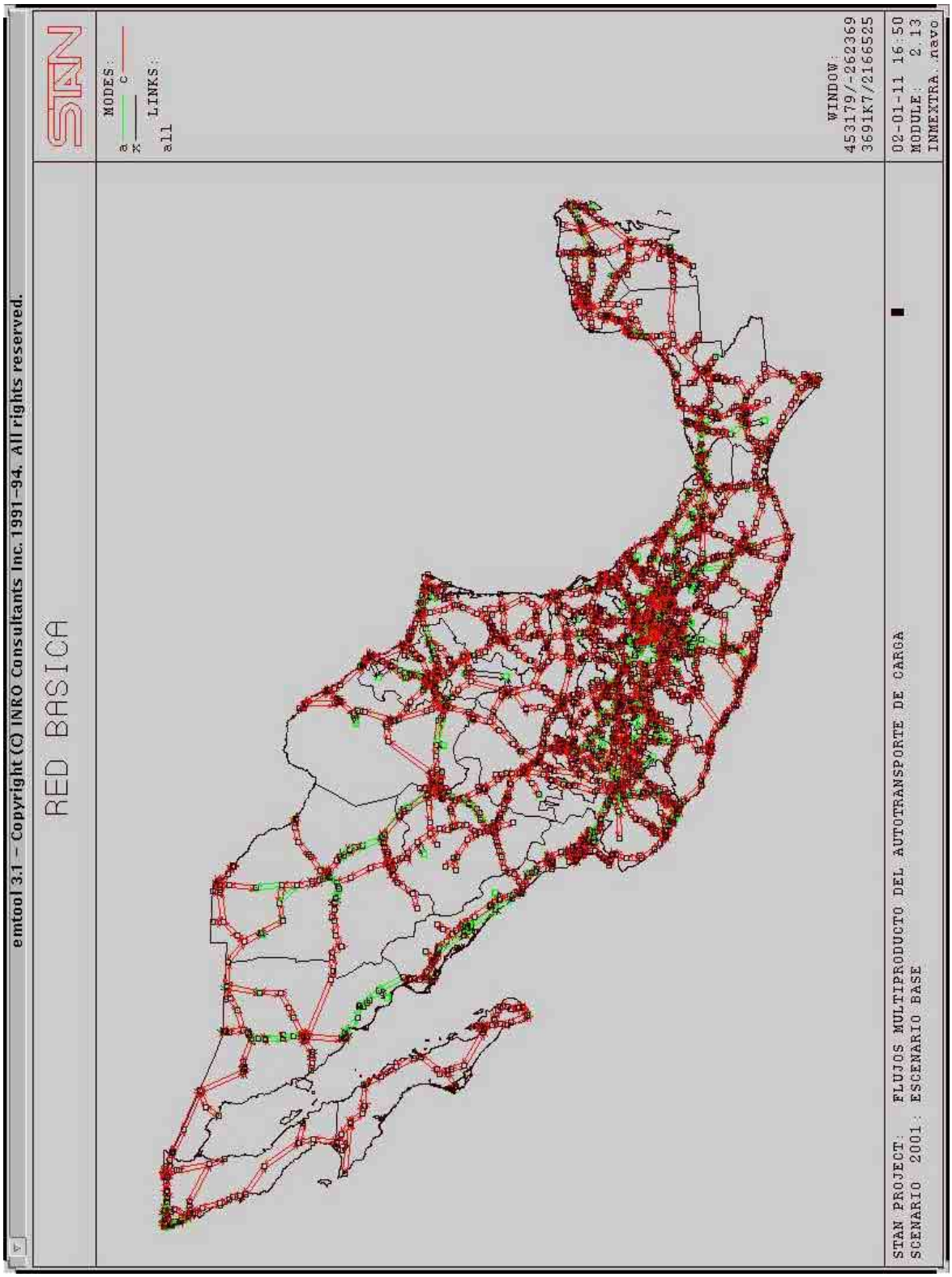

Fig 4.3. Red modelada en STAN

Capítulo 5. Generación de funciones de costo y matriz O-D multiproducto

5.1 Funciones de costo

De conformidad con el Cap 3, se especifican las siguientes funciones de costo para los arcos de la red modelada:

5.1.1 Arcos de autopistas de cuota

Para los diez tipos de productos considerados

fl11 = phil (5.1)

Donde:

fl11 = componente de costo correspondiente al pago de cuotas en autopistas (en pesos de 2001)

phil = Variable en la que se maneja en STAN la cuota (en pesos de 2001) en los arcos de autopistas de cuota

Sólo vehículos cargados (productos 1-8 y carga agregada)

fl12 = ul1 (5.2)

Donde:

fl12 = componente de costo correspondiente al COV (en pesos de 2001)

ul1 = variable en la que se maneja en STAN el COV bajo condiciones de flujo libre en el arco (en pesos de 2001)

fl13 = ul1*1.1491*(vehtot/((cap-1.5*(ul2-ul3))/5))^6.8677 (5.3)

Donde:

fl13 = componente de costo correspondiente a demoras por congestionamiento (en pesos de 2001)

ul1 = como ya fue definido

vehtot = flujo vehicular equivalente al volumen total de productos movidos sobre el arco

cap = variable en la que se maneja en STAN la capacidad del arco en vehículos ligeros por día

ul2 = variable en la que se maneja en STAN el valor de TDPA + 2B (Tránsito Diario Promedio Anual, más dos veces el flujo diario de autobuses en el arco)

ul3 = variable en la que se maneja en STAN el valor de C (flujo diario de camiones de carga en el arco)

Sólo vehículos vacíos (Tipo de producto 9)

fl14 = 0.93 * ul1 (5.4)

Donde:

fl14 = componente de costo correspondiente al COV (en pesos de 2001)

ul1 = variable en la que se maneja en STAN el COV bajo condiciones de flujo libre en el arco (en pesos de 2001)

fl15 = 0.93 * ul1 * 1.1491 * (vehtot/((cap - 1.5 * (ul2 - ul3))/5))^6.8677 (5.5)

fl15 es similar a fl13 y ul1, vehtot, cap, ul2 y ul3 son como ya fueron definidos.

En las ecs 4.4 y 4.5, el coeficiente 0.93 es un factor de reducción del COV para el vehículo en vacío en relación a cuando va cargado.

5.1.2 Arcos de carreteras libres

Para los diez tipos de productos considerados

fl21 = phil (5.6)

Donde:

fl21 es similar a fl11, y phil es como ya fue definido (igual a 0 en este caso)

Sólo vehículos cargados (productos 1-8 y carga agregada)

fl22 = ul1 (5.7)

Donde:

fl22 es similar a fl12, y ul1 es como ya fue definido

fl23 = ul1*0.6609*(vehtot/((cap-1.5*(ul2-ul3))/5))^5.0906 (5.8)

Donde:

fl23 es similar a fl13, y ul1, vehtot, cap, ul2 y ul3 son como ya fueron definidos

Sólo vehículos vacíos (tipo de producto 9)

fl24 =.93 * ul1 (5.9)

Donde:

fl24 es similar a fl22, y ul1 es como ya fue definido

fl25 =.93 * ul1 * .6609 * (vehtot / ((cap - 1.5 * (ul2 - ul3)) / 5))^5.0906 (5.10)

Donde:

fl25 es similar a fl23, y ul1, vehtot, cap, ul2 y ul3 son como ya fueron definidos

El coeficiente 0.93 es el mismo factor de reducción de COV para vehículos vacíos considerado en las ecs 4.4 y 4.5.

5.1.3 Conectores de centroide

fl91 = 0 (5.11)

fl92 = 0 (5.12)

fl93 = 0 (5.13)

Donde:

fl91, fl92 y fl93 son las funciones de costo por cuota, operación vehicular y demora respectivamente.

Asimismo, para los distintos tipos de transferencia entre modos (conector a carretera libre y viceversa, conector a autopista de cuota y viceversa, carretera libre a autopista de cuota y viceversa), se especifican las siguientes funciones:

ft1 = 0 (5.14)

Donde:

ft1 es la función de costo aplicable a cuota, operación vehicular y demora para todas las transferencias

Las ecs 5.3, 5.5, 5.8 y 5.10 anteriores fueron seleccionadas a partir del trabajo de Branston D, 1976 para valores de capacidad por carril y velocidad a flujo libre de más de 1,000 veh-h y más de 80 km/h, respectivamente, para autopistas de cuota; y 500 a 749 veh-h y 66 a 80 km/h para carreteras libres. Los valores anteriores de capacidad por carril corresponden al promedio de las capacidades diarias ingresadas para ambos tipos de carreteras en la red modelada. Los valores de velocidad a flujo libre corresponden a valores típicos medidos en esos dos tipos de carreteras (Chavarría Vega Jesús, et al, 1996).

Las funciones de costo 5.1 a 5.14 fueron ingresadas a STAN interactivamente, a través de los módulos correspondientes del menú del programa.

5.2 Matriz O-D multiproducto

5.2.1 Principios de integración de la matriz

Como se ha mencionado, la información O-D multiproducto para el desarrollo del modelo de asignación fue obtenida de 50 estaciones de exploración del EECAN, instaladas entre 1997 y 2001. La ubicación de estas estaciones se ilustra en la vista del SIG generado para este trabajo, (fig 5.1). Como es evidente en la figura, las 50 estaciones utilizadas están distribuidas a lo largo de toda la Red Carretera Federal.

A partir del EECAN, para cada estación se genera una base de datos en la que cada registro corresponde a los datos de un vehículo de carga explorado. Los datos relevantes para cada vehículo, almacenados en esas bases de datos, son:

- Nombre de la estación
- Poblaciones de origen y destino del viaje
- Descripción de la carga transportada
- Peso de la carga transportada, en toneladas

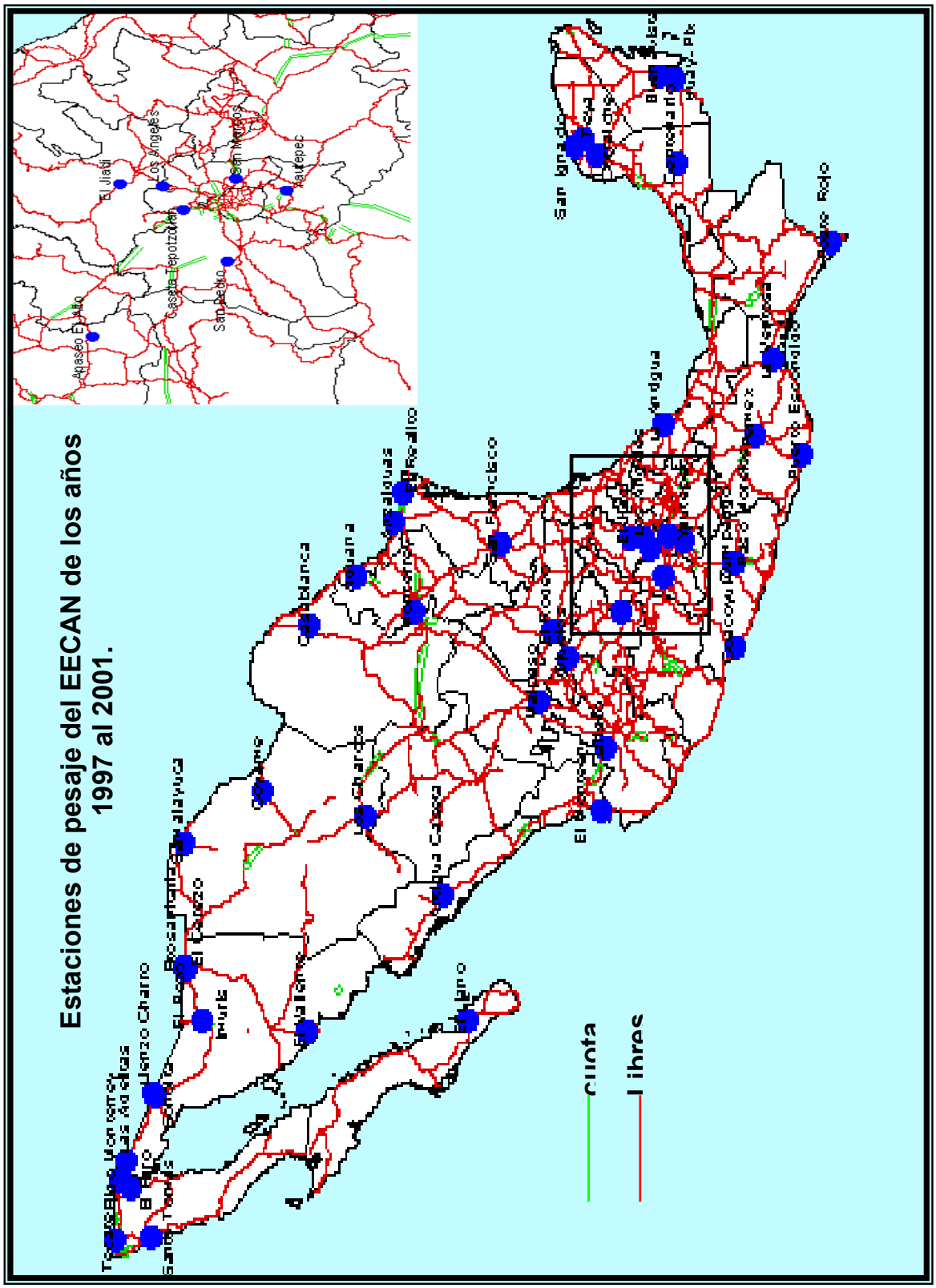

Fig 5.1. Ubicación de las estaciones seleccionadas

Para los propósitos de este trabajo, en cada una de las 50 bases de datos consideradas se efectuaron los siguientes procesos:

Se adicionó un campo en el que se almacenó un número de identificación secuencial dado a las estaciones.

Se almacenaron en dos campos diferentes, los números de centroide correspondientes, a las poblaciones de origen y destino de cada viaje o camión explorado. Para viajes desde o hacia poblaciones diferentes a las definidas como centroide, se asignó el número del centroide más cercano a esas poblaciones.

A partir de la descripción de la carga transportada, se asignó en un nuevo campo el tipo de producto correspondiente de acuerdo con los considerados (forestales, agrícolas, etc).

Adicionalmente se añadió otro campo para almacenar un factor de combinación lineal de los datos de las distintas estaciones.

Posteriormente, las cincuenta bases de datos consideradas se integraron en una sola. La tabla 5.1 muestra el número de registros o vehículos en la base de datos de cada estación, así como en la base de datos global (columna 3). Como lo indica la tabla, la muestra considerada para estimar la información O-D multiproducto de este trabajo está constituida por 333,543 registros o vehículos.

Al sumar el campo de peso de la carga transportada para los 333,543 registros en la base de datos global, se obtuvo un tonelaje total de 3,019,993. Se obtuvo un factor de ajuste de 0.409145 por el que habría que multiplicar la cifra anterior para obtener el tonelaje diario promedio movido en el año 2000, por el autotransporte nacional de carga. Según lo reportado en http://www.presidencia.gob.mx, este valor diario promedio fue de 1,235,616 ton (o 451 millones de toneladas totales movidas en el año 2000).

Por lo anterior, en la base de datos global se ingresó el valor de 0.409145 como factor inicial de combinación lineal para todas las estaciones, lo cual se refleja en la cuarta columna de la tabla 5.1. A su vez, la quinta columna de dicha tabla presenta el resultado de multiplicar el número de registros de cada estación por el factor inicial de combinación lineal anterior. Los resultados representan los flujos de vehículos de carga observados en las diferentes estaciones, ajustados de tal manera que globalmente dan el flujo diario promedio total de 1,235,616 ton de carga registradas para el 2000.

Estos 50 flujos observados son los valores de referencia contra los que se calibrará la matriz O-D estimada, según se indicará más adelante.

Mediante un programa de "Avenue" (ESRI, 1996b) se generó un nuevo archivo de texto en el que se almacenaron para cada registro en la base de datos global, los centroides de origen y destino del viaje así como el tonelaje de carga ajustado. Este último es el peso de la carga transportada, multiplicado por el factor de combinación lineal de la estación correspondiente (0.409145 en este caso). Evidentemente este archivo corresponde a la carga agregada (tipo de producto 10).

Finalmente, los registros en el archivo generado ingresaron al STAN mediante la modalidad de lectura automatizada o "batch" y la opción incremental. Esta última va almacenando la carga de todos los registros correspondientes a cada par O-D. Lo anterior fue efectuado mediante los módulos correspondientes del menú del programa STAN.

5.2.2 Calibración de la matriz

Una vez cargados al STAN todos los elementos mencionados, se realizó la primera corrida de asignación del mismo, para carga agregada en este caso. Una vez realizada esta corrida, se procedió a obtener del STAN los valores asignados de flujo en los arcos donde están ubicadas las estaciones. Para cada estación, estos flujos se incluyen en la sexta columna de la tabla 5.1.

El STAN cuenta con un procedimiento interno que permite realizar después de cada asignación, un análisis de regresión para un conjunto determinado de arcos (aquellos en los que se encuentran las 50 estaciones, en este caso), entre los flujos observados (columna 5 de la tabla 5.1) y los asignados (columna 6 de la tabla 5.1), obteniéndose la R^2 (coeficiente de determinación) correspondiente. Para esta primera iteración, el STAN arrojó una R^2 de 0.508. La fig 5.2 presenta el diagrama de dispersión de flujos predichos contra observados para esta primera iteración, y las 50 estaciones consideradas. Como el valor de R^2 obtenido es bajo, se procedió a calibrar la matriz O-D redefiniendo los factores de combinación lineal de las estaciones de la siguiente manera:

Tabla 5.1. Proceso de calibración

1	2	3	4	5	6	7	8
N° Estación (i)	**Nombre**	**N° Reg/Est. EECAN**	**Factor $f_{i,1}$**	**Flujo Veh Obs i/Día (fl obs $_i$)**	**Flujo Veh Asig i/Día (fl as $_{i,1}$)**	**Factor $f_{i,2}$**	**Flujo Veh Asig i/Día (fl as $_{i,2}$)**
1	El Realito	4355	0.409145	**1782**	2446	0.29805	1818
2	Samalayuca	4688	0.409145	**1918**	3728	0.21051	1301
3	San Francisco	5114	0.409145	**2092**	5368	0.15947	4653
4	San Ignacio	3843	0.409145	**1572**	1486	0.43305	1575
5	Paso Morelos	359	0.409145	**147**	2008	0.02993	3407
6	Teya	4251	0.409145	**1739**	1469	0.48455	1795
7	Buenavista	1591	0.409145	**651**	1243	0.21423	700
8	Zumpango	5464	0.409145	**2236**	822	1.11308	980
9	Centenario	1260	0.409145	**516**	1194	0.17660	632
10	San Marcos	12241	0.409145	**5008**	4746	0.43173	6387
11	Los Angeles	8038	0.409145	**3289**	5405	0.24896	5700
12	La Ventosa	5669	0.409145	**2319**	2573	0.36888	2527
13	Pemex	3735	0.409145	**1528**	452	1.38359	1060
14	Anzalduas	2671	0.409145	**1093**	4668	0.09579	3703
15	Casablanca	4555	0.409145	**1864**	5207	0.14645	1805
16	Imuris	3073	0.409145	1257	4227	0.12170	3356
17	Los Charcos	501	0.409145	205	2984	0.02811	1608
18	Ejido Monterrey	6441	0.409145	2635	13955	0.07726	5514
19	El Llano	1183	0.409145	484	480	0.41216	642
20	Santo Tomas	2911	0.409145	1191	531	0.91714	789
21	Cta Tepotzotlán	49045	0.409145	20067	19278	0.42589	21798
22	La Antigua	9163	0.409145	3749	3025	0.50710	2966
23	Coacoyul	4023	0.409145	1646	1694	0.39744	2473
24	Pto Escondido	2149	0.409145	879	732	0.49178	1106
25	San Pedro	5244	0.409145	**2146**	256	3.43552	1538
26	Ojuelos	3310	0.409145	**1354**	5626	0.09850	4359
27	Malpaso	4054	0.409145	**1659**	2138	0.31736	1500
28	Poste Rojo	5520	0.409145	**2258**	2390	0.38671	2309
29	El Rodeo	8493	0.409145	**3475**	5276	0.26948	4921
30	Huay-Pix	1304	0.409145	**534**	969	0.22523	552
31	Yautepec	9171	0.409145	**3752**	2769	0.55438	4016
32	El Jiadi	15894	0.409145	**6503**	3256	0.81716	3250
33	El Monteon	2963	0.409145	**1212**	2450	0.20247	1691
34	Jalisco	8206	0.409145	**3357**	2881	0.47686	2706
35	Corralche	4651	0.409145	**1903**	3068	0.25374	2454
36	Apaseo El Alto	19741	0.409145	**8077**	3628	0.91088	4740
37	Aduana	24100	0.409145	**9860**	12837	0.31426	12672
38	Coyame	274	0.409145	**112**	120	0.38068	104
39	Antigua Caseta	3955	0.409145	**1618**	1265	0.52328	809
40	Monterrey	40774	0.409145	**16682**	19050	0.35829	17732
41	El Valiente	7537	0.409145	**3084**	8536	0.14780	2684
42	Las Adelitas	4331	0.409145	**1772**	13685	0.05298	5453
43	El Cerezo	1098	0.409145	**449**	3178	0.05784	328
44	Coyame	208	0.409145	**85**	109	0.32008	120
45	El Faro	1617	0.409145	**662**	1238	0.21869	0
46	Fitosanitaria	2375	0.409145	**972**	6753	0.05887	3533
47	Lienzo Charro	376	0.409145	**154**	279	0.22551	89
48	El Pozo	3096	0.409145	**1267**	4223	0.12273	3360
49	Sonoita	3719	0.409145	**1522**	13470	0.04622	5410
50	Tecate	5209	0.409145	**2131**	4810	0.18130	3128

$f_{i,j+1} = f_{i,j}$ (fl obs $_i$ / fl as $_{i,j}$)

(4.15)

Donde:

$f_{i,j+1}$= factor de la estación i en la iteración j+1

$f_{i,j}$ = factor de la estación i en la iteración j

fl obs $_i$ = flujo diario observado en la estación i

fl as $_{i,j}$ = flujo diario asignado en la estación i en la iteración j

La columna 7 de la tabla 5.1 presenta el conjunto de factores de combinación lineal así obtenidos. Dichos factores ingresaron posteriormente en la base de datos global de 333,543 vehículos en los registros de sus respectivas estaciones. Cabe señalar que la suma para todos los registros de la base de datos global de la multiplicación de estos nuevos factores por el peso de la carga en cada registro, genera un valor de flujo diario promedio nacional de 1,251,532 ton de carga (o un flujo anual de 456.8 millones de toneladas, valor que es muy similar a la cifra oficial de 451 millones).

Con el nuevo conjunto de factores se procedió a cargar el STAN con la nueva matriz O-D, repitiendo el procedimiento mencionado. Asimismo, al redefinir los factores de combinación lineal de las estaciones, la base de datos global arroja los nuevos valores de carga útil transportada por vehículo para los diez tipos de productos considerados en la tabla 5.2. Estos nuevos valores también fueron cargados dentro del STAN.

Destaca en la tabla 5.2 que los mayores flujos de toneladas de carga en la matriz O-D ingresada al modelo, corresponden a productos industriales (con 59.3 % de las toneladas totales) y agrícolas (con 14.2 %). Asimismo, en términos de vehículos, los mayores flujos corresponden a productos industriales (con 38.3 % del flujo total de vehículos), vacíos (con 36.0 %), y productos agrícolas (con 9.5 %). La estructura porcentual de la información O-D en la Tabla 5.2 en términos de los diferentes tipos de productos, es similar a la reportada en un trabajo anterior (Gil Anaya Claudia Z, et al, 1999) para la información del EECAN entre 1990 y 1995, aunque también destaca que entre ese período y el considerado para este trabajo (1997-2001), el porcentaje de productos industriales creció de 45% a 59% en términos de tonelaje.

Se realizó una nueva corrida de asignación del STAN, obteniéndose los flujos predichos en los arcos donde se encuentran las estaciones en la columna 8 de la tabla 5.1. Para este nuevo conjunto de flujos asignados, el STAN arrojó una R^2 de 0.851 que se consideró adecuada, con lo cual se dio por concluido el proceso de calibración del modelo.

La fig 5.2 muestra el diagrama de dispersión de flujos predichos contra reales para las 50 estaciones, para esta nueva iteración.

Como referencia, las dos últimas columnas (9 y 10) de la tabla 5.1 contienen los números de los nodos inicial (f) y final (t), en la modelación en STAN, de los arcos en los que se encuentran ubicadas las estaciones.

Tabla 5.2. Valores finales de carga útil por tipo de producto

Producto	Descripción	Flujo diario de toneladas de carga	%	Flujo diario de vehículos de carga	%	Carga útil (Ton/Veh)
1	Forestales	30,612.29	2.45	2,365	1.52	12.94
2	Agrícolas	177,790.11	14.21	14,771	9.51	12.04
3	Animales y derivados	50,934.61	4.07	4,473	2.88	11.39
4	Minerales	20,150.74	1.64	900	0.59	22.38
5	Petróleo y derivados	73,192.58	5.85	3,816	2.46	19.18
6	Inorgánicos	58,679.12	4.69	4,320	2.78	13.58
7	Industriales	742,235.95	59.31	59,400	38.25	12.50
8	Otros	97,381.50	7.78	9,333.2	6.01	10.43
9	Vacíos	-	0	55,908.1	36.00	0.01
10	**Carga agregada**	**1,251,532.2**	**100**	**155,288**	**100**	**8.06**

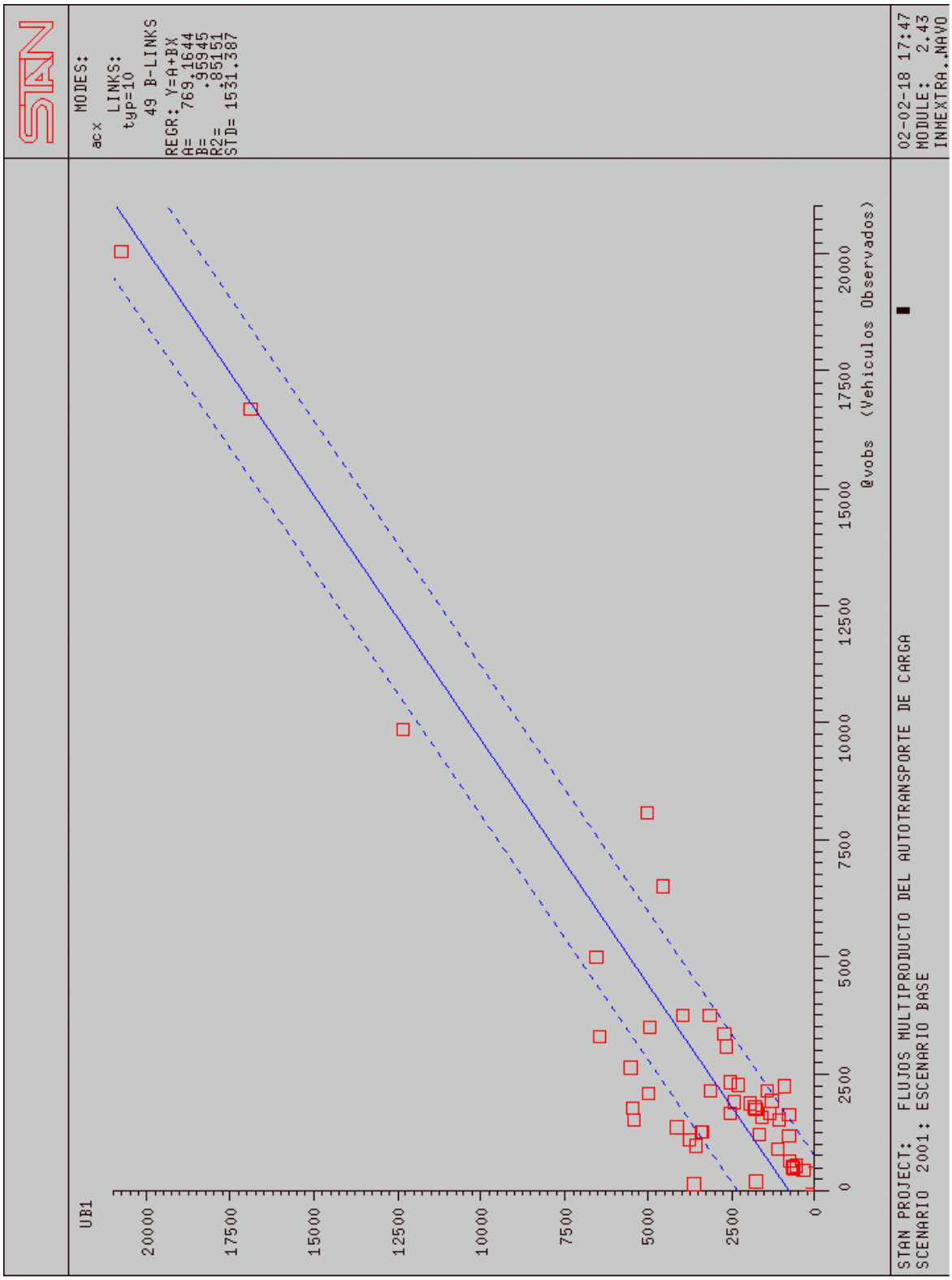

Fig 5.2. Diagrama final de dispersión de flujos predichos contra reales

5.2.3 Alimentación del STAN con las matrices O-D de los distintos tipos de productos

Como resultado del proceso de calibración descrito, el modelo quedó alimentado con la matriz O-D para la carga agregada (tipo de producto 10). Es necesario, ahora, alimentarlo con las matrices O-D de otros tipos de productos.

Lo anterior se realizó siguiendo, para cada uno de los otros tipos de producto, el mismo procedimiento descrito en la sección anterior para la carga agregada. Es decir, para cierto tipo de producto, se utilizó el mismo programa de “Avenue” mencionado en la sección anterior para generar el archivo de texto con el tonelaje de carga ajustado entre el origen y destino de cada flete de ese tipo de producto, en la base de datos global. En este caso, dicho peso ajustado es resultado de la multiplicación del peso de la carga transportada por el factor de combinación lineal final (de la segunda iteración del proceso de calibración), de la estación correspondiente. Posteriormente, los registros en este archivo de texto ingresaron al STAN mediante lectura automatizada (batchoco) y opción incremental, a través de los comandos de los módulos correspondientes del menú del programa STAN.

Capítulo 6. Generación de Resultados

Se describe la información que se puede obtener de STAN, una vez que se ha elaborado y corrido el modelo de asignación para la Red Carretera Federal. En general, es factible obtener tres tipos de resultados: el primero corresponde a la información relacionada con el modelo de red ingresado en STAN, el segundo se refiere a la información O-D considerada para el modelo, y el tercero a los resultados del proceso de asignación de la demanda O-D sobre la red considerada.

STAN genera resultados en diferentes formatos:

Por archivo:

- Listados
- Matrices
- Gráficos
- Resúmenes

Por pantalla:

- Reportes
- Gráficos
- Histogramas
- Resúmenes

Asimismo, se presentan algunas aplicaciones relacionadas con el modelo de asignación creado para este trabajo.

6.1 Resultados relacionados con el modelo de red

Los resultados relacionados con el modelo de red se ejemplificaron en la fig 5.1 (Cap 5), la cual presenta la Red Básica (red detallada o “base network” de STAN). Además se pueden obtener otros resultados, como diagramas de dispersión, como el mostrado en la fig 5.2 (Cap 5), el cual muestra la correlación entre flujos observados y flujos predichos sobre arcos seleccionados de la red.

Las figs 6.1 y 6.2 ilustran algunos de los nodos que funcionan como puntos de transferencia entre modos para la red modelada.

En la fig 6.3 se muestra el árbol de distancias mínimas de toda la red, obtenido a partir de un centroide raíz hacia todos los demás centroides. En este caso, se seleccionó como nodo raíz el centroide etiquetado como DF y con número de nodo 2504; que corresponde al Distrito Federal. También se puede obtener un informe tabular con las distancias mínimas entre todo posible par O-D (matriz de distancias mínimas), lo cual no es posible de manera gráfica ya que no se comprendería la representación grafica simultánea de todos los árboles de distancias mínimas asociados.

El modelo también permite generar matrices de costos unitarios mínimos y de costos marginales mínimos. Una aplicación de la primera se presenta más adelante.

6.2 Resultados relacionados con la información O-D

Con este tipo de resultados se puede observar cuales son los pares O-D más importantes en función de la demanda de movimiento entre ellos. Por ejemplo, en la fig 6.4 se obtuvieron para el modelo considerado, los 19 pares O-D con mayor demanda de movimiento de carga. En la fig 6.5, se muestran los 19 pares O-D más importantes en función de la generación y atracción de viajes por sí mismos, y en la 6.6 los 20 pares O-D con mayor movimiento de vehículos en vacío.

Para obtener los resultados en las figuras anteriores se pueden utilizar herramientas de STAN, como son los histogramas de matrices, además de los listados de los mismos. En la fig 6.7 se muestra el histograma de distancias mínimas y en la fig 6.8, el mismo histograma pero con valores normalizados. Estos histogramas se pueden generar para cualquier matriz con el fin de interpretar los resultados de las estadísticas obtenidos de dichos histogramas.

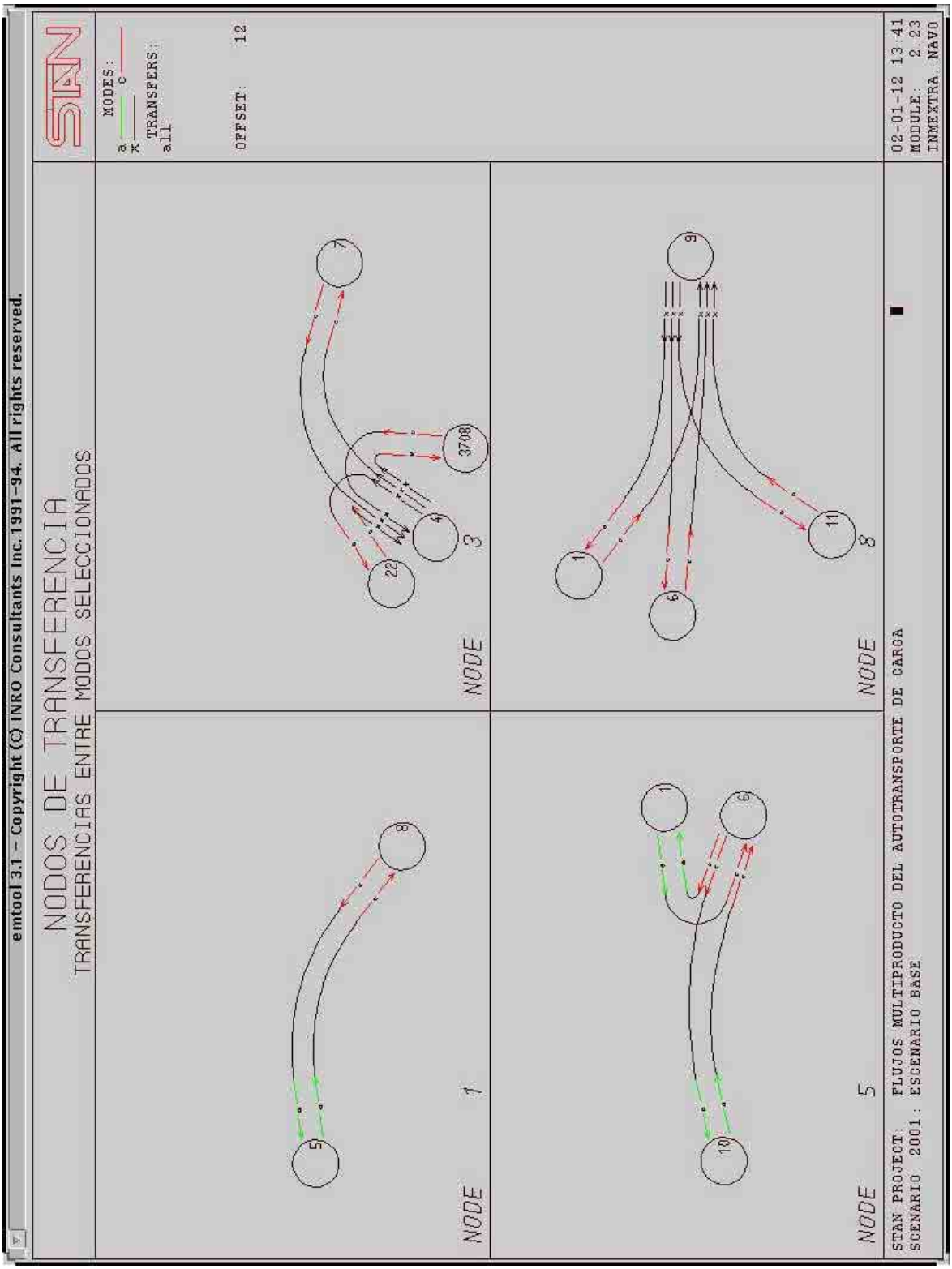

Fig 6.1. nodos de transferencia 1,3, 5 y 8

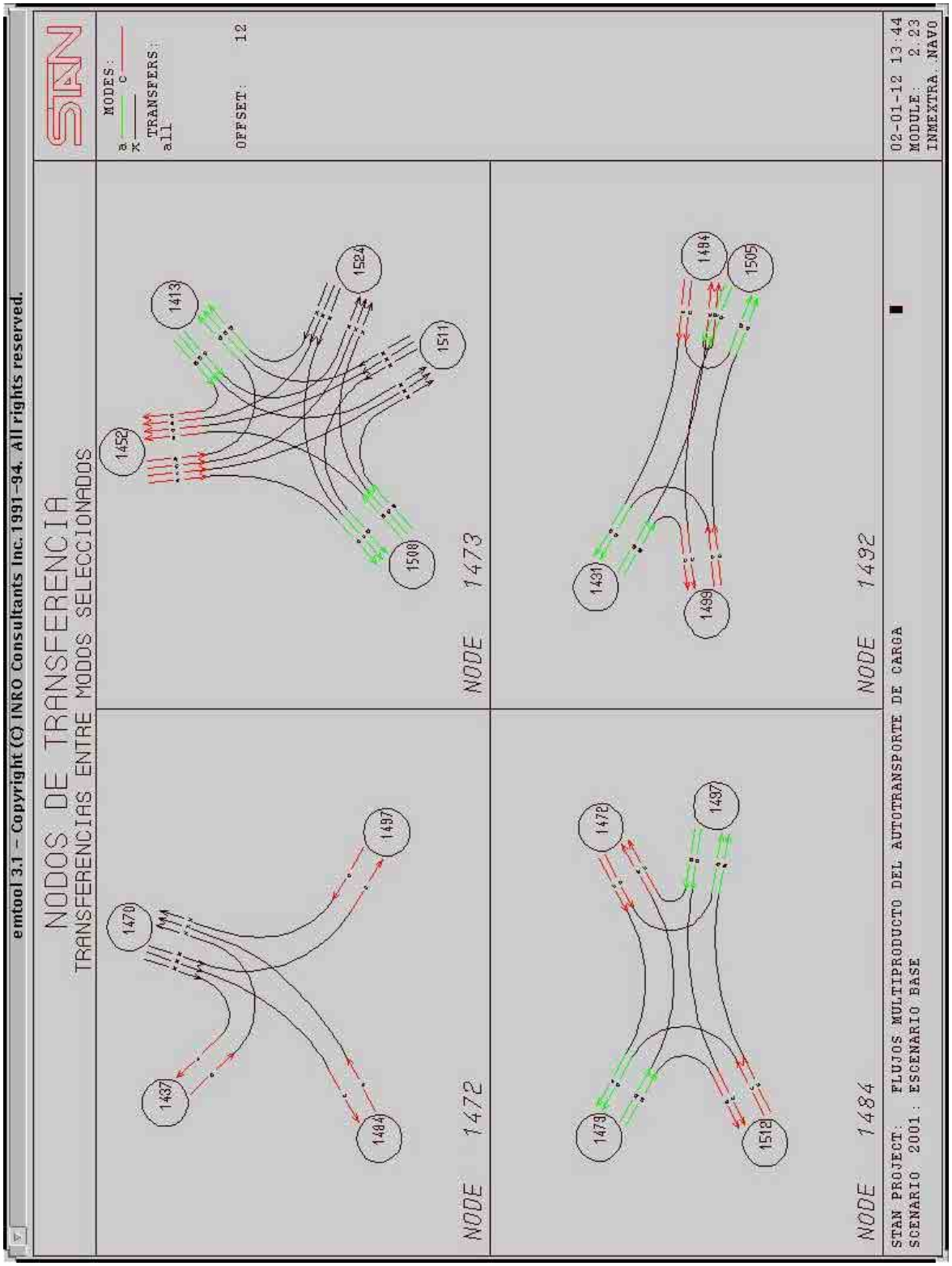

Fig 6.2. Nodos de transferencia 1472, 1473, 1484 y 1492

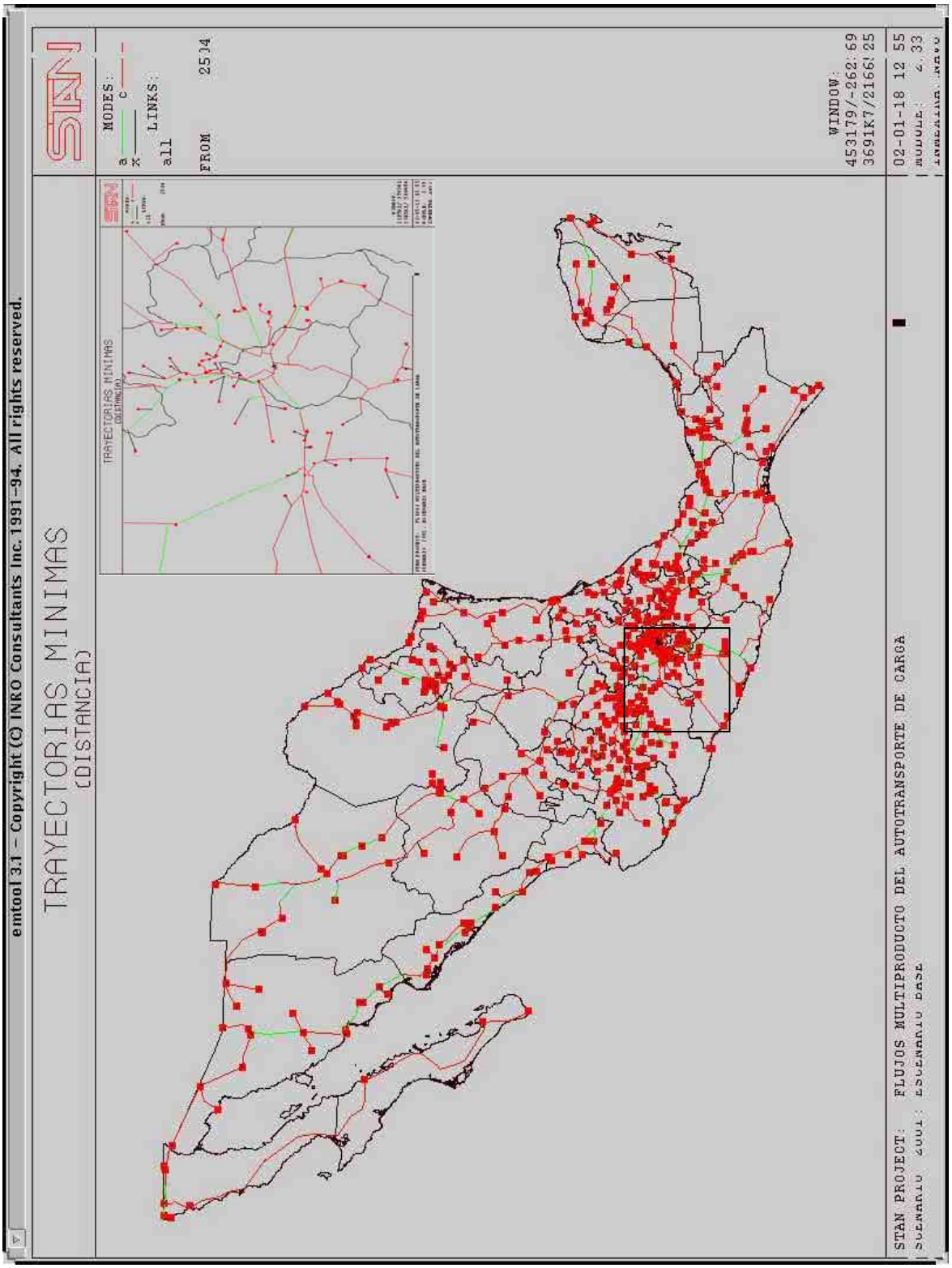

Fig 6.3. Recorridos de distancias mínimas desde el DF

6.3 Resultados relacionados con el proceso de asignación

6.3.1 Asignación agregada

Del proceso de asignación realizado con el modelo generado, se pueden obtener diversos resultados y efectuar diferentes análisis.

Entre los resultados que se pueden obtener, se encuentran: resúmenes de asignación, resultados de asignación por modo, tipo de arco, producto, etc. También es factible obtener resultados de manera visual de la asignación sobre la red en toneladas de carga, vehículos, convoys, etc.

En la fig 6.4 se muestra la parte más importante de la red modelada en función de la asignación de los movimientos de carga en toneladas. La figura muestra los arcos con flujo diario predicho mayor o igual que 10,978.1 ton. A estos arcos, que representan el 30.6% de la red modelada, les corresponde el 80% de la suma de flujos predichos en todos los arcos. Asimismo, por ellos se transporta el 76.5% de las toneladas-kilómetro (ton-km) totales movidas por la red modelada. Según resultados del modelo, estas últimas ascienden a 911.4 millones ton-km/día (332,665 millones ton-km/año).

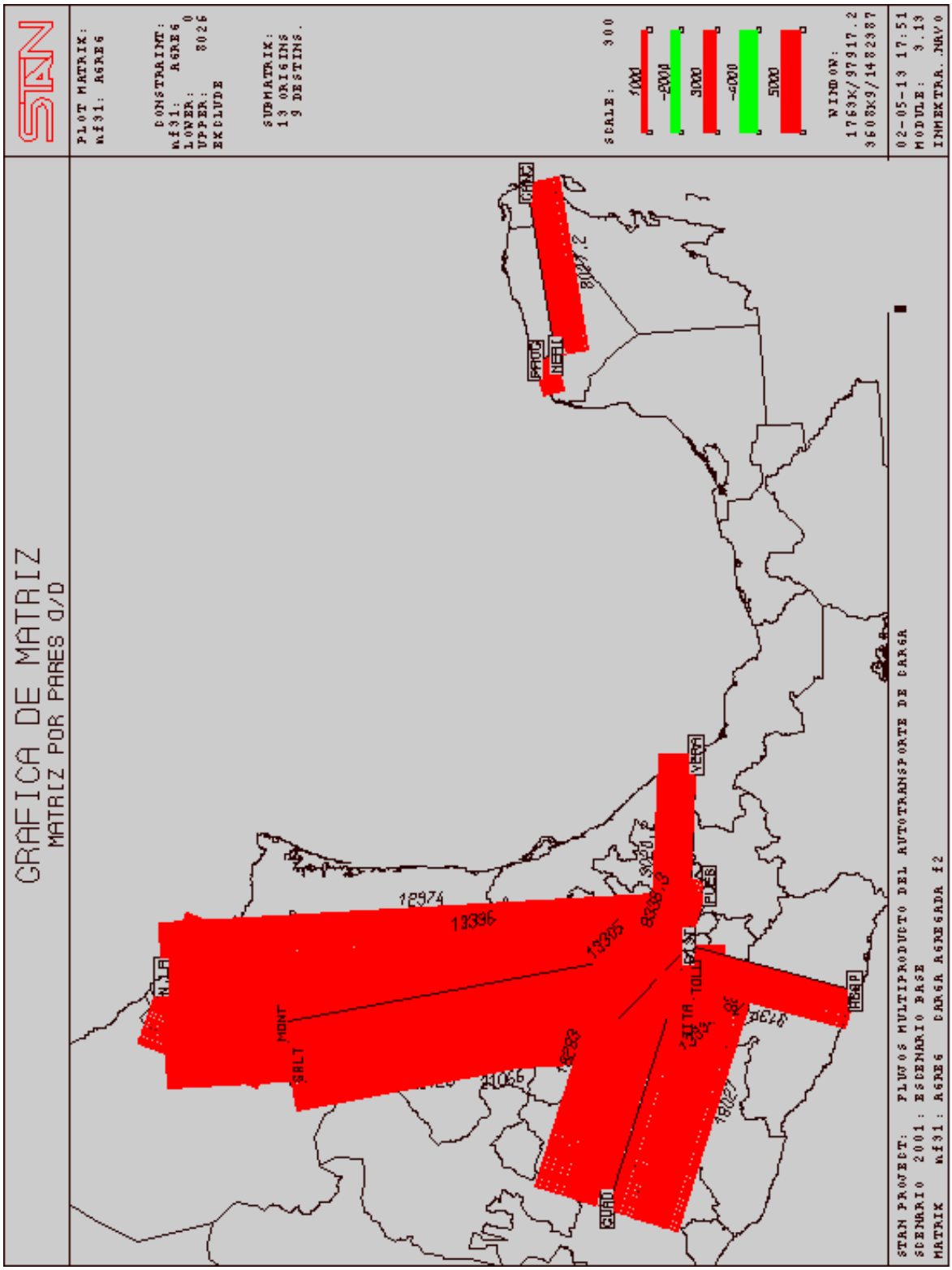

Fig 6.4. 19 pares OD más Importantes

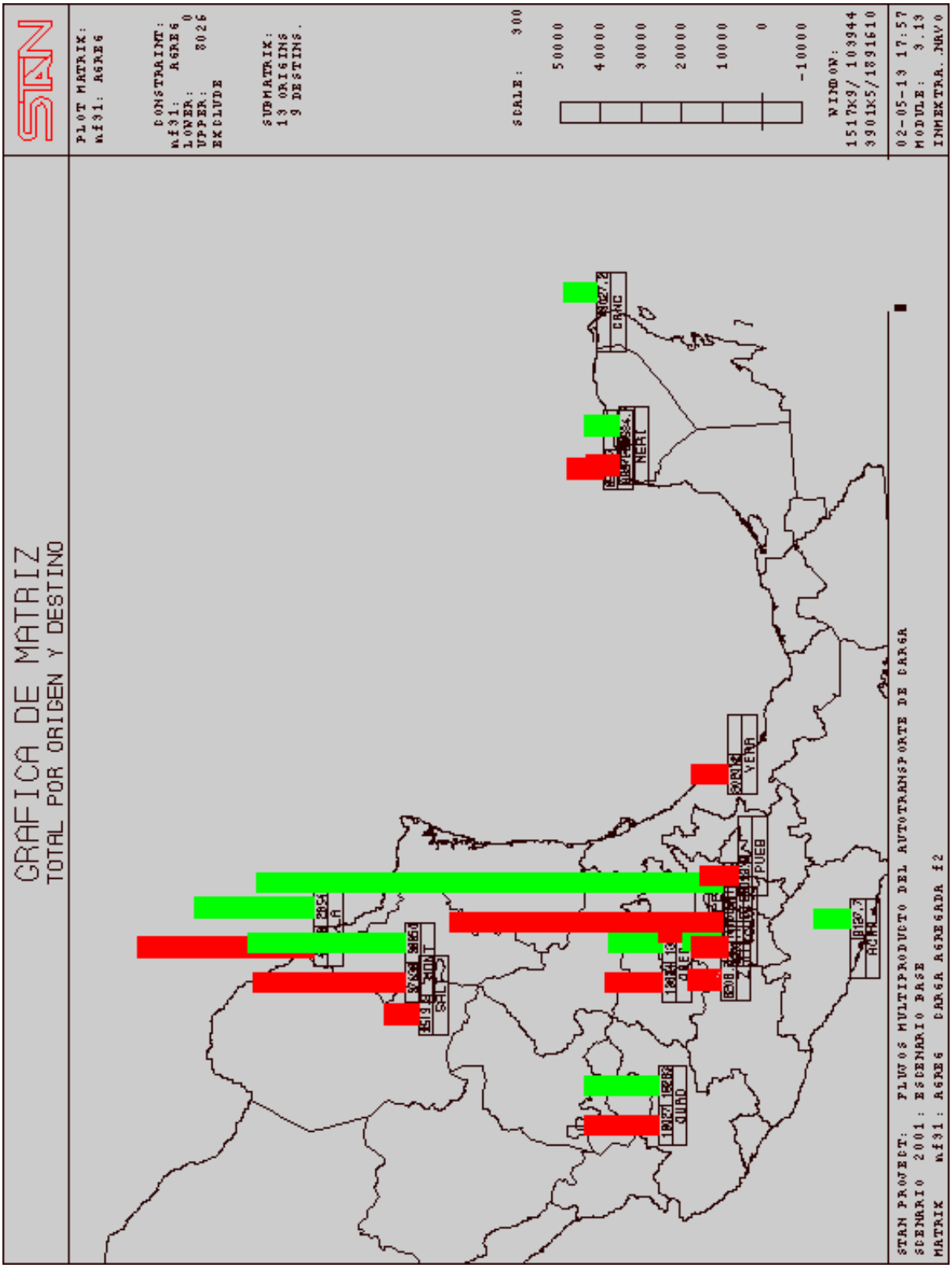

Fig 6.5. 19 pares más importantes, por generación y atracción

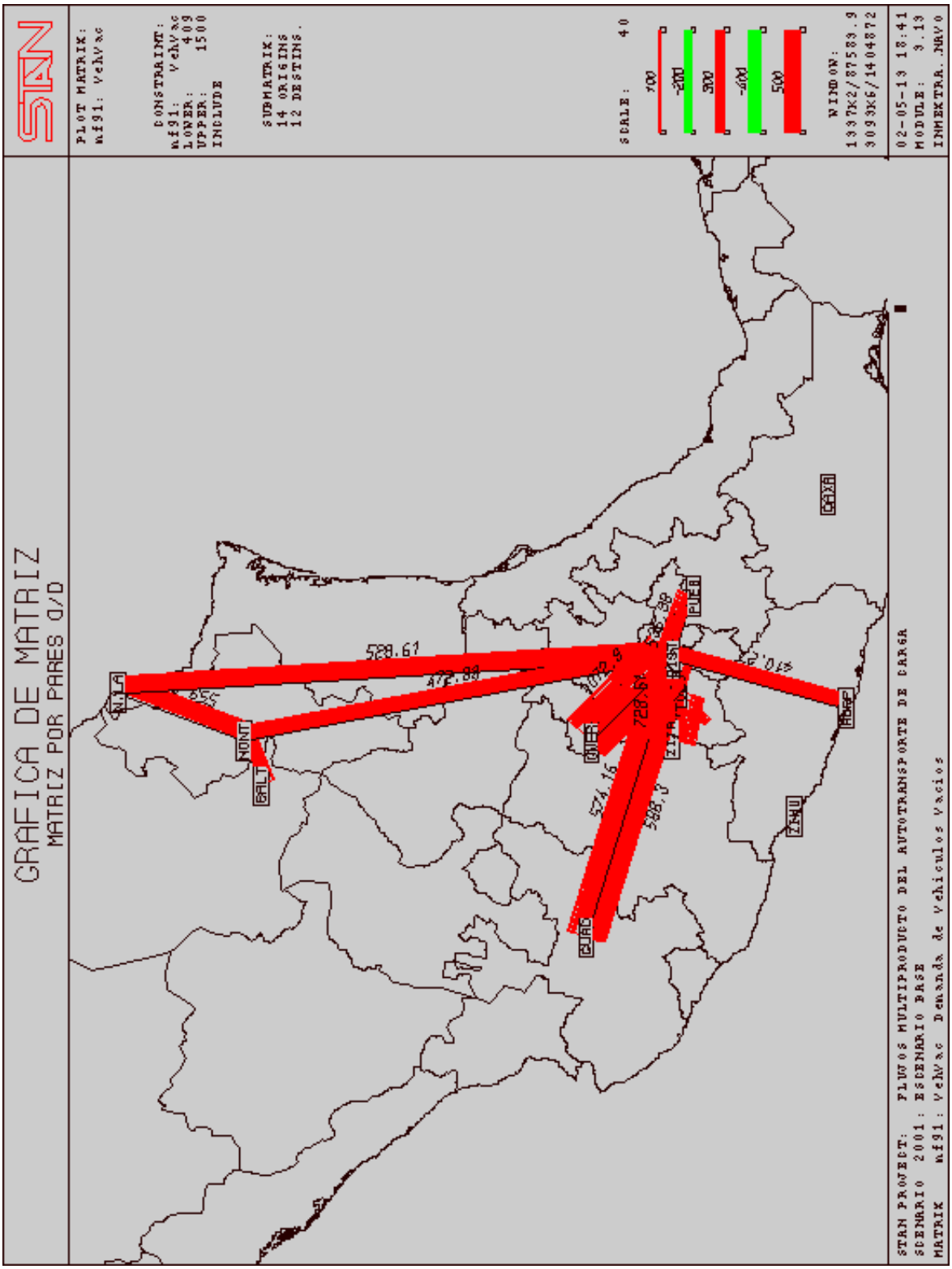

Fig 6.6. 20 pares más importantes para movimientos en vacío

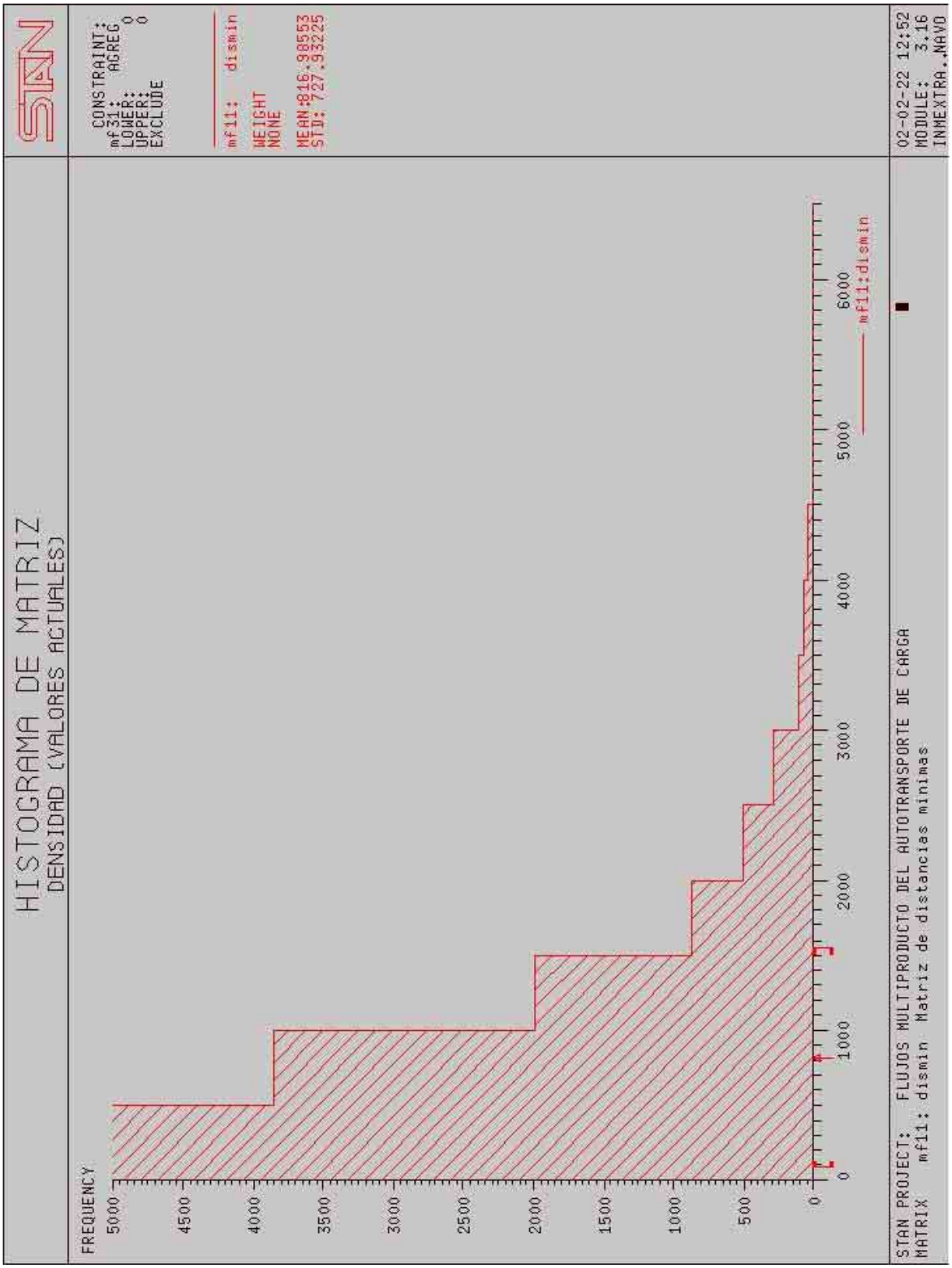

Fig 6.7. Histograma de distancias mínimas

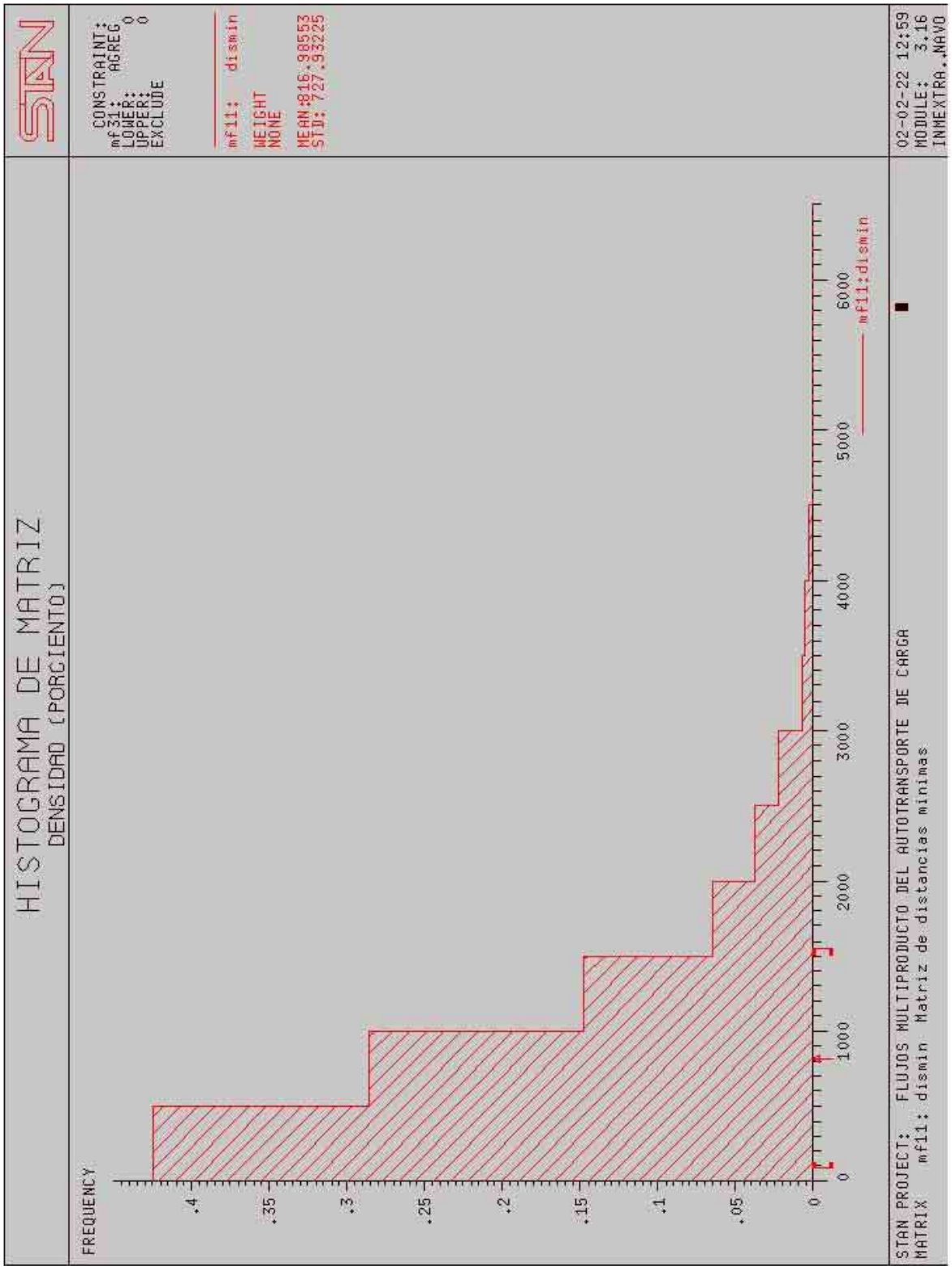

Fig 6.8. Histograma de distancias mínimas normalizado

Asimismo, en la fig 6.10 se muestra dicha red con la asignación equivalente en vehículos de carga.

También se obtuvo que el costo total de las operaciones de autotransporte por la red modelada asciende a $133 mil millones/año, que si se divide entre las ton-km transportadas (332,665 millones), da un costo promedio de $0.3998/ton-km. Asimismo, se concluye que en el transporte de esas ton-km totales, se recorren 35,630 veh-km por año. Si el costo total mencionado se divide entre esta cifra, se obtiene un costo promedio de $3.73/veh-km.

6.3.2 Asignación desagregada por tipo de producto

La tabla 6.1 presenta los flujos diarios de vehículos-kilómetro (veh-km) y ton-km obtenidos a partir de la asignación desagregada, para los diferentes tipos de productos. La cuarta columna de la tabla indica que los tipos de producto para los que se transportan las mayores cantidades de ton-km son los productos industriales con 62.2% de las ton-km totales movidas y los productos agrícolas con 16.2%. En términos de veh-km los productos industriales mantienen el primer lugar con 46.4%, pero ahora en segundo lugar queda el movimiento de vacíos con 24.8%, seguido por los productos agrícolas con 12.6%.

De manera similar que para el caso de las toneladas (discutido en el capítulo anterior), la estructura porcentual de las ton-km entre los diferentes tipos de producto es similar a la reportada en el trabajo anterior (Gil Anaya Claudia Z, et al, 1999) para la información del EECAN entre 1990 y 1995, aunque entre ese período y la actualidad se detecta un incremento en el porcentaje para los productos industriales de 42.0% a 62.1%

También se obtuvo que el costo total de transporte ($133 mil millones/año) se distribuye entre los diferentes tipos de productos con porcentajes similares a las de las ton-km en la tabla 6.1.

6.4 Otros resultados

Como se ha mencionado en diferentes partes de este trabajo, el modelo generado puede tener diversas aplicaciones; algunas de las más importantes, son:

Identificación de corredores prioritarios a modernizar, por ejemplo, la fig 6.11 reproduce la red principal para el autotransporte de carga presentada ya en las figs 6.9 y 6.10, aunque en la fig 6.11 es en formato de ArcView y

en las 6.9 y 6.10 en formato de STAN. Sobre la red en la fig 6.11 es posible aplicar todas las herramientas de ArcView (ESRI, 1996a) y su Extensión para el Análisis de Redes (ESRI, 1996c) para dar continuidad a dicha red y conectarla con los sitios de mayor importancia socioeconómica del país (capitales de estados, fronteras, puertos, etc). La red así ampliada sería la de mayor prioridad a modernizar, para sustentar el desarrollo del país.
A partir de ingresarse en el modelo la información correspondiente a ciertos servicios, sería posible determinar sus características operativas idóneas, tales como alternativas más convenientes de ruta, etc, así como otros datos económicos de importancia (p ej, ingresos que se generarían, etc).

La última columna de la tabla 6.1 muestra las distancias promedio por viaje para los distintos tipos de productos, obtenidas de dividir las cifras de veh-km/día en esta tabla entre las de veh/día en la tabla 5.2 (Cap 5). Como es evidente, las distancias promedio por viaje son mayores para los productos que en mayores cantidades se transportan (industriales y agrícolas) y viceversa, encontrándose la distancia para vacíos entre las más pequeñas de todas, por la misma razón.

Tabla 6.1. Flujos diarios de veh-km y ton-km por tipo de producto.

Producto	Descripción	ton-km/día	%	veh-km/día	%	Dist. prom./viaje (km)
1	Forestales	18,046,488	1.98	1,394,626	1.43	589.7
2	Agrícolas	148,057,900	16.24	12,297,182	12.60	832.5
3	Animales y derivados	35,471,172	3.89	3,114,237	3.19	696.2
4	Minerales	12,338,602	1.35	551,232	0.56	612.5
5	Petróleo y derivados	29,638,462	3.25	1,545,280	1.58	404.9
6	Inorgánicos	23,897,740	2.62	1,759,777	1.80	407.4
7	Industriales	566,720,100	62.18	45,337,496	46.44	763.3
8	Otros	77,239,536	8.47	7,405,521	7.59	793.5
9	Vacíos	0.00	0.00	24,212,657	24.80	433.1
10	**Carga agregada**	**911,410,000**	**100.00**	**97,618,008**	**100.00**	

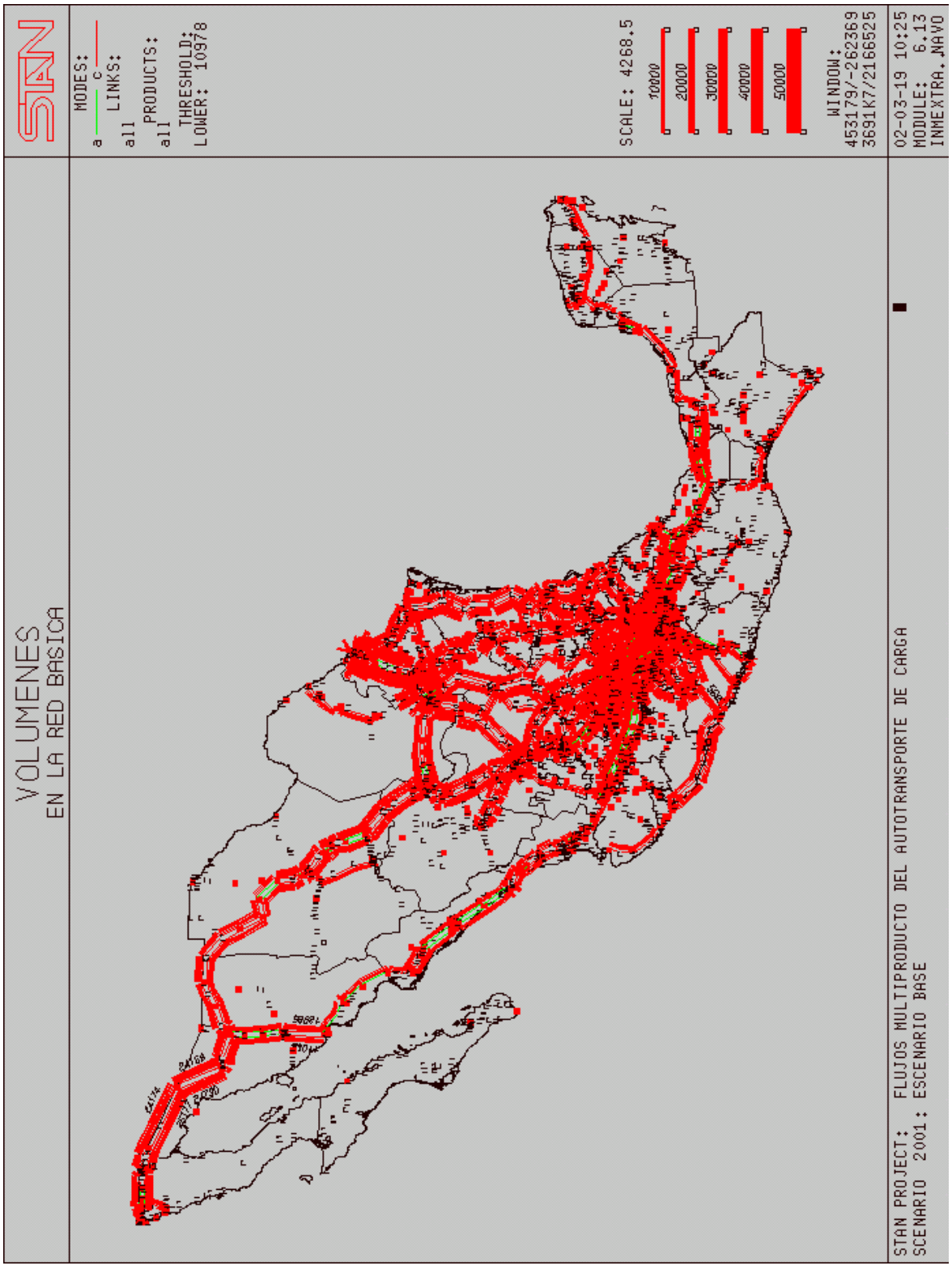

Fig 6.9. Fracción más importante de la red carretera, en función de movimiento de volúmenes de carga

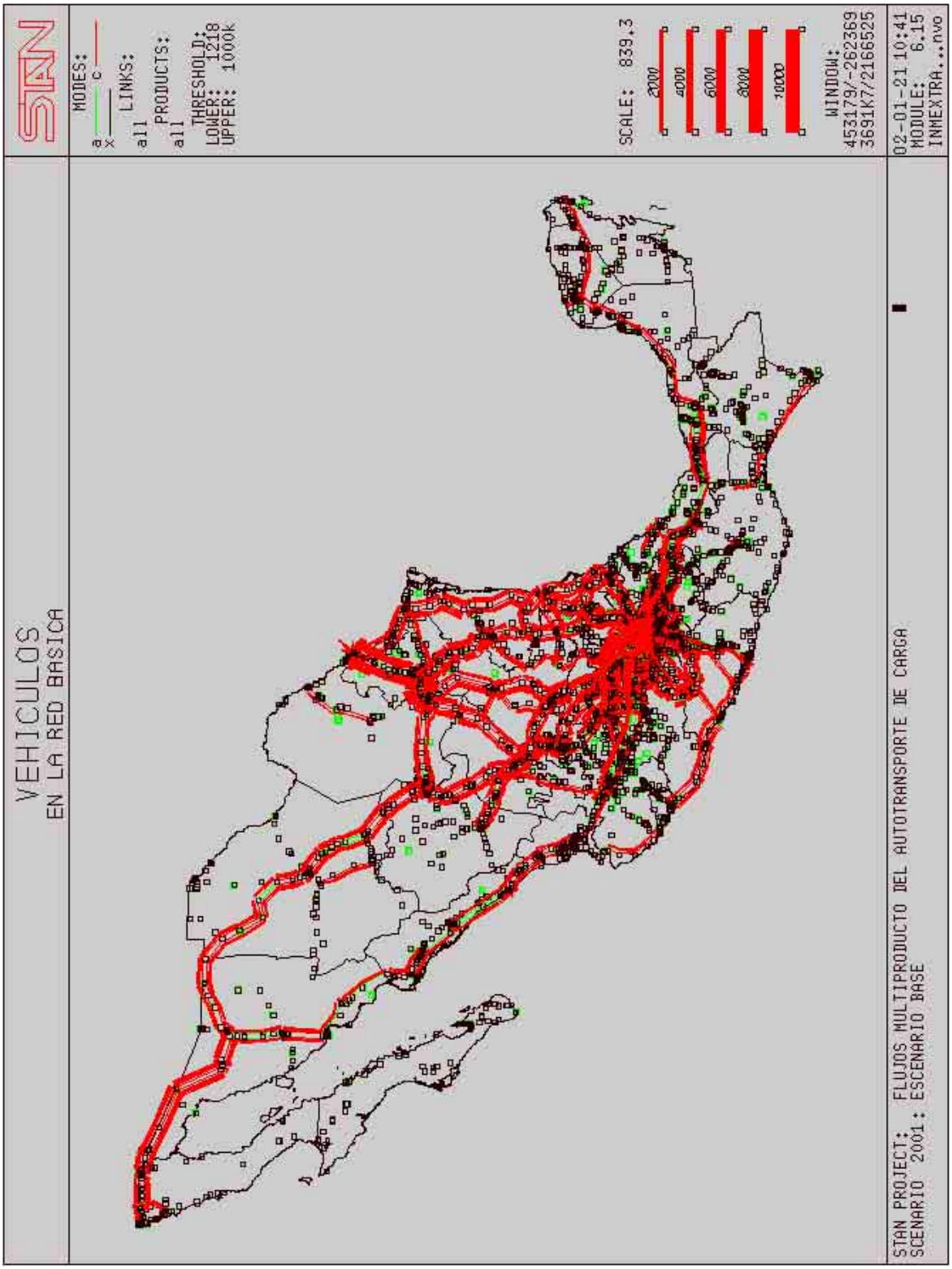

Fig 6.10. Fracción más importante de la red carretera, en función de movimiento de vehículos de carga

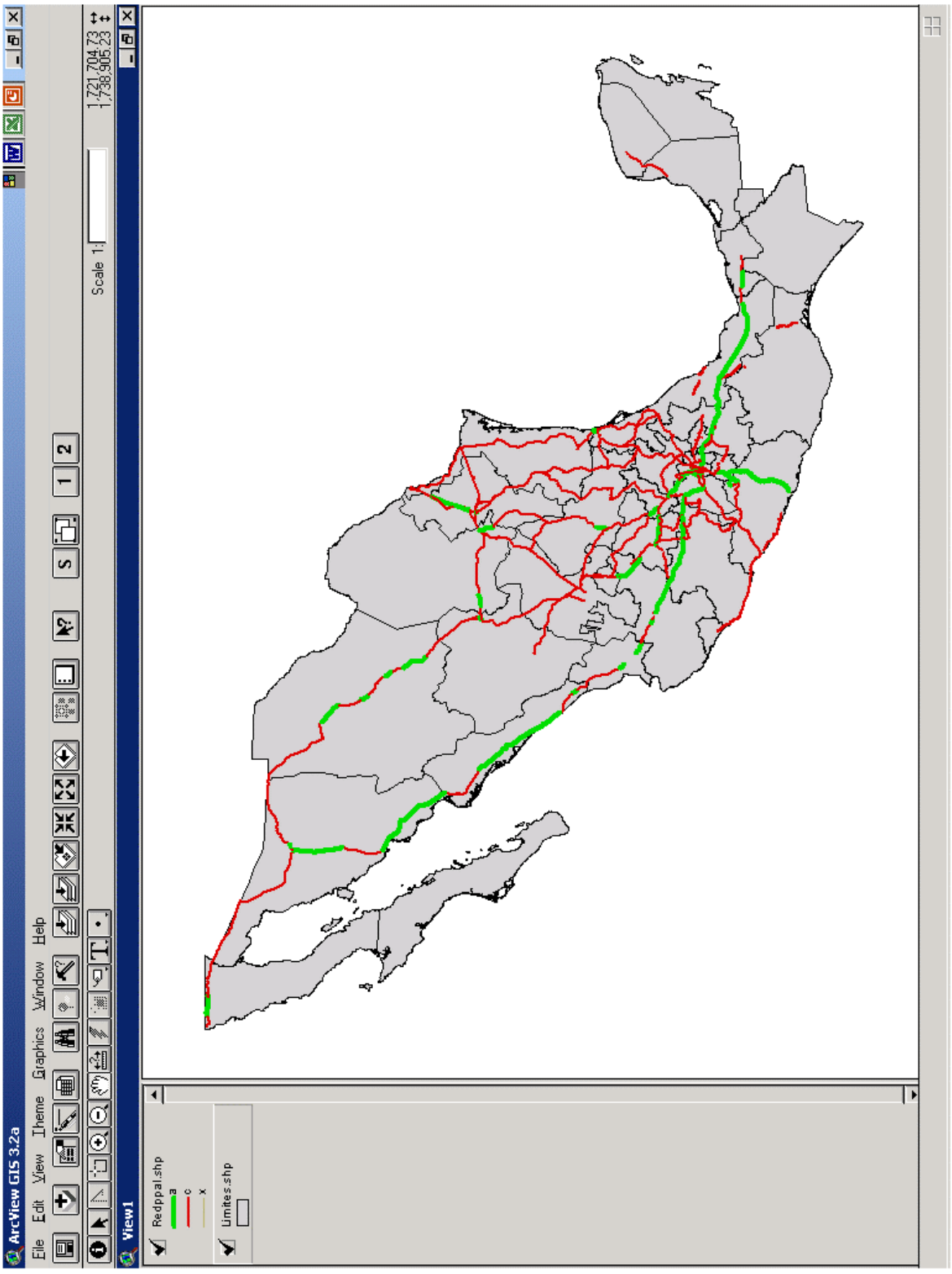

Fig 6.11. Fracción más importante de la red carretera en ArcView resultante de la asignación en STAN

Conclusiones y recomendaciones

A partir del trabajo efectuado pueden establecerse las siguientes conclusiones y recomendaciones:

El modelo de asignación desarrollado es una herramienta para la planeación de la infraestructura, y algunos de sus aspectos operativos más importantes (p ej, tarifas en autopistas de cuota, regulaciones, etc). Fundamentalmente permite estimar el impacto en los flujos, derivado de modificaciones en esos aspectos del sistema de transporte. También estimar flujos vehiculares en arcos y rutas, costos de transporte, caminos más cortos, etc. Asimismo, identificar los corredores más importantes para el autotransporte en general o por tipo de producto, de lo cual se puede obtener la longitud de la Red Carretera Federal más importante en función de los flujos transportados sobre ella. Además es factible obtener datos como ton-km y veh-km por unidad de tiempo movidas en la red, así como los productos con mayor relevancia en su movimiento.

Se concluye que este trabajo forma la base para que en un futuro próximo, pueda construirse una modelación que incluya los demás modos de transporte.

De acuerdo con lo anterior, una primera aplicación contemplada para el modelo generado incluye la identificación y análisis de posibles corredores de transporte en proyectos de interés por parte del sector transporte.

Entre las aportaciones más importantes de este trabajo se pueden mencionar:

La creación de una metodología para la generación del modelo de red en formato STAN a partir de información georeferenciada, mostrando la posibilidad de complementar diversas herramientas computacionales en la elaboración de modelos de asignación para la planeación del transporte.

Una metodología para la creación del modelo de demanda en formato STAN, a partir de bases de datos con información recopilada en campo.

La generación de programas de cómputo para implementar, de manera rápida y eficiente, las metodologías anteriores.

Las recomendaciones que pueden sugerir aportaciones útiles en el futuro son:

Expandir el modelo de red de este trabajo a todos los modos de transporte del país.

Recabar información confiable sobre las características de cada modo de transporte.

Estudiar, con mayor detalle, la manera en que se desenvuelve la actividad en cada modo de transporte.

Con lo anterior, estudiar la manera de modelar con mayor exactitud el comportamiento de los modos de transporte sobre la red modelada (generación de funciones de comportamiento), es decir, estudiar los factores que determinan el comportamiento de los flujos de los diferentes modos de transporte; los factores están relacionados con las características operacionales únicas de cada modo de transporte.

Aplicar las recomendaciones anteriores para implantarlas en el Proyecto de Estudio de Preinversión del Corredor de Transporte Intermodal del Golfo de México, actualmente realizado por el Instituto Mexicano del Transporte.

Es importante enfatizar que la precisión de los resultados a partir del modelo generado en STAN, depende de la calidad de los datos de oferta (infraestructura) y demanda (flujos O-D) considerados en la modelación. Con base en lo observado en la información tanto de oferta como de demanda, se concluye que es factible incrementar de manera considerable la calidad de la misma. Aunque los resultados del modelo representan de manera aceptable la realidad, se recomienda mejorar los procedimientos de recopilación, introducir una mayor supervisión en las encuestas por parte de personal calificado, introducir una estandarización de productos y hacerla respetar, etc.

Referencias bibliográficas

Archondo-Callao, R. 1989, Vehicle Operating Cost Model (VOC), The World Bank, June.

Branston D. 1976. Link Capacity Functions: A Review. Transportation Research 10, 223-236.

Chavarría Vega Jesús, et al, 1996. Algunas medidas para mejorar la seguridad vial en las carreteras nacionales. Publicación Técnica 89. Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Qro.

DGST. 1998. Dirección General de Servicios Técnicos. Clasificación de Carreteras Federales.

ESRI, 1992. Environmental Systems Research Institute. ArcInfo GIS.

ESRI, 1996a. Environmental Systems Research Institute. ArcView 3.2 GIS.

ESRI, 1996b. Environmental Systems Research Institute. Avenue, Customization and Application Development for ArcView.

ESRI 1996c. Environmental Systems Research Institute. Network Analyst.

Friesz Terry L, 2000. Strategic Freight Network Planning Models, Handbook of Transport Modelling, Elsevier Science, Ltd.

Gil Anaya Claudia Z, et al, 1999. Modelación multiproducto de los flujos de carga en las Redes Carretera y Ferroviaria. Publicación Técnica 126, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Qro.

Gutiérrez, H, J L, et al, 1999. Estudio estadístico de campo del autotransporte nacional, Análisis de la información recopilada en 1995 y 1996, Documento Técnico 20, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Qro.

http://www.presidencia.gob.mx, Sexto Informe de Gobierno del Presidente Ernesto Zedillo Ponce de León, Oficina de la Presidencia de la República).

IMT 1999. Instituto Mexicano del Transporte. Sistema de Información GeoEstadística para el Transporte (SIGET), Querétaro, México.

INEGI, 1995. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Conteo de Población y Vivienda, 1995.

INRO Consultants, Inc. 1995. STAN User's Manual, Software Release 4.0, Montreal, Canadá.

Institute of Transportation Engineers 1992. ITE. Transportation Planning Handbook, Prentice-Hall, Inc, New Jersey.

Leyva C. Juan R. 2002. Desarrollo de un Sistema de Información Geográfica para la obtención de costos de operación vehicular del autotransporte de carga en la Red Carretera Federal. Tesis de la Maestría en Sistemas de Transporte y Distribución de Carga. UAQ-IMT, Qro.

National Research Council 1985. Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, Washington, DC.

SCT, 2000. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Datos Viales, Capacidad y Niveles de Servicio, y Mapas de Comunicaciones y Transportes.

Trejo R. Juan Manuel, et al, 1999. Un análisis de la Demanda del Autotransporte Nacional de Carga. Publicación Técnica 127, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Qro.

A N E X O S

A N E X O A

Programas elaborados en lenguaje Avenue

ANEXO A. Programas elaborados en lenguaje Avenue.

En este anexo se muestran los programas denominados “scripts”, elaborados en el lenguaje de programación de ArcView: “Avenue”.

Como se verá, en esta sección se presenta el código fuente de los programas elaborados así como una breve descripción de la función que lleva a cabo cada uno de los “scripts”.

1. Calcula y recopila las coordenadas X y Y de los nodos de la red

```
Vista = av.FindDoc("Vista Red")
_theProjection = Vista.GetProjection
project_flag = _theProjection.IsNull.Not 'true if projected
TemaPuntos = Vista.GetActiveThemes.Get(0)
if (((TemaPuntos.GetSrcName.GetSubName = "point") or
   (TemaPuntos.GetSrcName.GetSubName = "polygon")).Not) then
   MsgBox.Info("El tema de nodos de la red debe estar activo","")
   exit
end
Ftabla = TemaPuntos.GetFTab
theFields = Ftabla.GetFields
edit_state = Ftabla.IsEditable
If (edit_state=false)then
   editar=msgbox.yesnocancel("La tabla de nodos no está en modo de edición, deseas hacerla
          editable ahora?.","Atención.",true)
   If(editar=true)then
      if (Ftabla.CanEdit) then
        Ftabla.SetEditable(true)
        if ((Ftabla.CanAddFields).Not) then
          MsgBox.Info("No se puede agregar campos a la tabla."+NL+"Checar permisos de
                      escritura.",
          "No se puede agregar coordenadas X Y.")
          exit
        end
      else
        MsgBox.Info("No se puede modificar la tabla de elementos."+NL+
        "Checar permisos de escritura.","No se puede agregar coordenadas X Y")
        exit
      end
   Else
     exit
```

```
    End
End
x_existe = (Ftabla.FindField("X-coord") = NIL).Not
y_existe = (Ftabla.FindField("Y-coord") = NIL).Not
if (x_existe or y_existe) then
  if (MsgBox.YesNo("Sobreecribir Campos Existentes?",
  "Los Campos X-coord, Y-coord ya existen", false)) then
    if (x_existe) then
      Ftabla.RemoveFields({Ftabla.FindField("X-coord")})
    end
    if (y_existe) then
      Ftabla.RemoveFields({Ftabla.FindField("Y-coord")})
    end
  else
    exit
  end  'if (MsgBox...)
end  'if
x = Field.Make ("X-coord",#FIELD_DECIMAL,18,5)
y = Field.Make ("Y-coord",#FIELD_DECIMAL,18,5)
Ftabla.AddFields({x,y})
if (TemaPuntos.GetSrcName.GetSubName = "point") then
  if (project_flag) then
    Ftabla.Calculate("[Shape].ReturnProjected(_theProjection).GetX", x)
    Ftabla.Calculate("[Shape].ReturnProjected(_theProjection).GetY", y)
  Else
    Ftabla.Calculate("[Shape].GetX", x)
    Ftabla.Calculate("[Shape].GetY", y)
   End
End  'if
Guardar = msgbox.yesno("Deseas guardar ahora los cambios efectuados en la base de datos de
nodos?","Atención",true)
If(Guardar = true)then
  Ftabla.SetEditable(false)
End
```

2. Compara las coordenadas de los nodos de la red, y revisa cuáles son los nodos que están duplicados dentro de la red y los elimina

```
seg=msgBox.yesno("Este proceso genera cambios en las bases de datos de los nodos y arcos de
                  la red, deseas continuar?","Atención",true)
if(seg=false)then
```

```
  exit
End

Proyecto = av.GetProject

Tabnodos = Proyecto.FindDoc("Tabla Nodos")

Tablineas = Proyecto.FindDoc("Tabla Arcos")

Vtabnodos = Tabnodos.GetVtab

Vtablineas = Tablineas.GetVtab

Vtabnodos.SetEditable(true)

Vtablineas.SetEditable(true)

If (Vtabnodos.FindField("Borra") = Nil)then
   Borra = Field.Make("Borra",#FIELD_CHAR,6,0)
   List_Borra = {Borra}
   Vtabnodos.AddFields(List_Borra)
End

CampoX = Vtabnodos.FindField("X-coord")

CampoY = Vtabnodos.FindField("Y-coord")

CampoFN = Vtablineas.FindField("Fnode_")

CampoTN = Vtablineas.FindField("Tnode_")

CampoRedContin = Vtabnodos.FindField("Red_Nodos")

CampoBorra = Vtabnodos.FindField("Borra")

Numnodos = Vtabnodos.GetNumRecords

For each rec in 0..(Numnodos -2)
     NumNodoi = rec +1
     Xi = Vtabnodos.ReturnValue(CampoX,rec).setformat("d.ddddd").asstring
     Yi = Vtabnodos.ReturnValue(CampoY,rec).setformat("d.ddddd").asstring
     Exp = "([X-coord] = "+Xi+")and([Y-coord] = "+Yi+")"
     ElBitmap = Vtabnodos.Getselection
     ElQuery  = Vtabnodos.Query(Exp,ElBitmap,#VTAB_SELTYPE_NEW)
     Vtabnodos.UpdateSelection
     Cuenta = ElBitmap.count
     if(cuenta > 1)then
          h=0
          For Each r in ElBitmap
             If(h=0)then
                NodoAsignar = Vtabnodos.ReturnValue(CampoRedContin,r).AsString
             End
             If(h>0)then
                Vtabnodos.SetEditable(true)
                NodoBorrar = Vtabnodos.ReturnValue(CampoRedContin,r).AsString
```

```
            Exp2 = "([Fnode_] = "+NodoBorrar+")or([Tnode_] = "+NodoBorrar+")"
            ElBitmap2 = Vtablineas.Getselection
            ElQuery2 =Vtablineas.Query(Exp2,ElBitmap2,#VTAB_SELTYPE_NEW)
            Vtablineas.UpdateSelection
            For Each r2 in ElBitmap2
               Fnodenew = Vtablineas.Returnvalue(CampoFN,r2).AsString
               Tnodenew = Vtablineas.Returnvalue(CampoTN,r2).AsString
               If(Fnodenew = NodoBorrar)then
                  Cambianodo=Vtablineas.SetValue(CampoFN,r2,NodoAsignar)
               End
               If(Tnodenew = NodoBorrar)then
                  Cambianodo=Vtablineas.SetValue(CampoTN,r2,NodoAsignar)
               End
            End
            Marca = "Borra"
            Vtabnodos.Setvalue(CampoBorra,r,Marca)
         End
         h=h+1
      End
      Vtabnodos.refresh
   End
   progreso = ((rec+1)/(Numnodos-1))*100
   estado= av.setstatus(progreso)
End
Exp3 = "([Borra] = ""Borra"")"
ElBitmap = Vtabnodos.Getselection
ElQuery  = Vtabnodos.Query(Exp3,ElBitmap,#VTAB_SELTYPE_NEW)
Vtabnodos.UpdateSelection
NodosMarcados=ElBitmap.Count.AsString
Numnodos2 = Vtabnodos.GetNumRecords
Borrados = (Numnodos-Numnodos2).AsString
Borrar =msgbox.YesNo("Nodos Duplicados Marcado(s) = "+NodosMarcados++NL+"Deseas
Borrarlo(s) ahora?","Nodos Marcados",true)

If(Borrar = true)then
   VtabNodos.BeginTransaction
   VtabNodos.RemoveRecords(VtabNodos.GetSelection)
   VtabNodos.EndTransaction
   Vtabnodos.refresh
End
```

```
Numnodos2 = Vtabnodos.GetNumRecords
Borrados = (Numnodos-Numnodos2).AsString
msgbox.info("Nodos Duplicados que fueron eliminados = "+Borrados,"Nodos Eliminados")
Guardar = msgbox.yesno("Deseas guardar ahora los cambios efectuados en las bases de datos de nodos y arcos en la red?","Atención",true)
If(Guardar = true)then
   Vtabnodos.SetEditable(false)
   Vtablineas.SetEditable(false)
End
```

3. Une los arcos con el mismo identificador y que se encuentran entre intersecciones

```
seg=msgbox.yesno("Este proceso genera cambios en la base de datos de los arcos de la red, deseas continuar? ","Atención",true)
If(seg =false)then
  exit
End

proy = av.getproject

vista = proy.findDoc("Vista Red")

tema_Nodos = vista.FindTheme("Nodos")
tema_Arcos = vista.FindTheme("Arcos")
Ftab_Nodos = tema_Nodos.GetFtab
Ftab_Arcos = tema_Arcos.GetFtab

CFN = Ftab_Arcos.FindField("Fnode_")
CTN = Ftab_Arcos.FindField("Tnode_")
CRC = Ftab_Nodos.Findfield("Red_Nodos")
CampoID = Ftab_Arcos.FindField("Id_unico")
CampoMOD = Ftab_Arcos.FindField("Mod")
NumNodos = Ftab_Nodos.GetNumRecords

For each Nodoi in Ftab_Nodos """""""""""""""""""""""""""""""(1)
   vista.SetEditableTheme(tema_Arcos)
   Nodo = Ftab_Nodos.ReturnValue(CRC,Nodoi).asString
   Expr = "([Fnode_] = "+Nodo+")or([Tnode_] = "+Nodo+")"
   ElBitMap = Ftab_Arcos.GetSelection
   seleccion = Ftab_Arcos.Query(Expr,ElBitMap,#VTAB_SELTYPE_NEW)
```

```
Ftab_Arcos.UpdateSelection
cuenta = ElBitmap.count

if(cuenta = 2)then   """""""""""""""""""""""""""""""""(2)
    ListaID = {0,0}
    ListaNI = {0,0}
    ListaNF = {0,0}
    ListaMOD = {0,0}
    j=0
    For Each i in ElBitmap""""""""""""""""""""(3.1)
        ID = Ftab_Arcos.ReturnValue(CampoID,i)
        NI = Ftab_Arcos.ReturnValue(CFN,i)
        NF = Ftab_Arcos.ReturnValue(CTN,i)
        MODO=Ftab_Arcos.ReturnValue(CampoMOD,i)
        ListaID.Set(j,ID)
        ListaNI.Set(j,NI)
        ListaNF.Set(j,NF)
        ListaMOD.Set(j,MODO)
        j=j+1
    End"""""""""""""""""""""""""""""""""(3.1)

    Id1 = ListaID.Get(0)
    NI1 = ListaNI.Get(0)
    NF1 = ListaNF.Get(0)
    MOD1= ListaMOD.Get(0)
    Id2 = ListaID.Get(1)
    NI2 = ListaNI.Get(1)
    NF2 = ListaNF.Get(1)
    MOD2= ListaMOD.Get(1)
    If ((Id1 = Id2) and (MOD1<> "x") and (MOD2 <>"x"))then""""""""""""""""(3.2)
        If(NF1 = NI2)then
          NI = NI1
          NF = NF2
        ElseIf(NF1 = NF2)then
            NI = NI1
            NF = NI2
        ElseIf(NI1 = NI2)then
            NI = NF1
            NF = NF2
        ElseIf(NI1 = NF2)then
            NI = NF1
            NF = NI2
        End
```

```
            For Each i in ElBitmap"""""(4)
               Ftab_Arcos.Setvalue(CFN,i,NI)
               Ftab_Arcos.Setvalue(CTN,i,NF)
               Ftab_Arcos.Refresh
            End""""""""""""""""""""(4)

            Ftab_Arcos.BeginTransaction

            tema_arcos.UnionSelected

            Ftab_Arcos.EndTransaction

            tema_arcos.Invalidate(TRUE)

        End """""""""""""""""""""""""""""""""(3.2)

    End"""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""(2)

    ElBitmap.ClearAll

End"""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""(1)

Guardar = msgbox.yesno("Deseas guardar ahora los cambios efectuados en las bases de datos de
los arcos en la red?","Atención",true)

If(Guardar = true)then
   tema_Arcos.StopEditing(true)
End
```

4. Elimina los nodos sobrantes del proceso de unión de arcos realizado por el "script" anterior

```
seg=msgBox.yesno("Este proceso genera cambios en la base de datos de los nodos de la
                  red."+"Depués de este proceso, los cambios efectuados en las bases de
                  datos, se guardarán de manera definitiva, deseas continuar?","Atención",true)

if(seg=false)then
  exit
End


vista = av.GetProject.FindDoc("Vista Red")

Nodos = vista.FindTheme("nodos")

Arcos = vista.FindTheme("arcos")


Ftab_Nodos = Nodos.GetFtab
Ftab_Lineas = Arcos.GetFtab


CRC = Ftab_Nodos.findField("Red_Nodos")
Num_Nodos = Ftab_Nodos.GetNumRecords


Ftab_Nodos.SetEditable(true)
```

```
For Each nodoi in Ftab_Nodos
   nodo = Ftab_Nodos.ReturnValue(CRC,nodoi).asstring
   expr1 = "([Fnode_] = "++nodo++") or ([Tnode_] = "++nodo++ ")"
   ElBitMap = Ftab_Lineas.GetSelection
   Ftab_Lineas.Query(expr1,ElBitMap,#VTAB_SELTYPE_NEW)
   FTab_Lineas.UpdateSelection
   cont = ElBitMap.Count


   If (cont = 0) then
     expr2= "([Red_Nodos] = "++nodo++")"
     ElBitMap2 = Ftab_Nodos.GetSelection
     Ftab_Nodos.Query(expr2,ElBitMap2,#VTAB_SELTYPE_NEW)
     Ftab_Nodos.UpdateSelection
     Ftab_Nodos.BeginTransaction
     Ftab_Nodos.RemoveRecords(Ftab_Nodos.GetSelection)
     Ftab_Nodos.EndTransaction
     Ftab_Nodos.refresh
   End
End

msgbox.Info("Los cambios efectuados en las bases de datos de los nodos en la red serán
            guardados ahora.","Atención")

Ftab_Nodos.SetEditable(False)
```

5. Identifica los tramos que STAN puede interpretar como arcos duplicados

```
seg=msgBox.yesno("Este proceso genera cambios en la base de datos de los arcos de la red,
                  deseas continuar?","Atención",true)

if(seg=false)then
  exit
End


Proyecto = av.GetProject


Tablineas = Proyecto.FindDoc("Tabla Arcos")
Vtablineas = Tablineas.GetVtab
Vtablineas.SetEditable(true)


If (Vtablineas.FindField("Doble_Tramo") = Nil)then
   DobleTramo = Field.Make("Doble_Tramo",#FIELD_CHAR,12,0)
   List_Campo = {DobleTramo}
   Vtablineas.AddFields(List_Campo)
End

CampoFN = Vtablineas.FindField("Fnode_")

CampoTN = Vtablineas.FindField("Tnode_")
```

```
CampoDobleTramo = Vtablineas.FindField("Doble_Tramo")
Numnodos = Vtablineas.GetNumRecords

For each rec in Vtablineas""""""""""""""""""""""""""""for1
   NumNodoi = rec +1
   NI = Vtablineas.ReturnValue(CampoFN,rec).asstring
   NF = Vtablineas.ReturnValue(CampoTN,rec).asstring
   Exp = "([Fnode_] = "++NI++")and([Tnode_] = "++NF++")"
   ElBitmap = Vtablineas.Getselection
   ElQuery  = Vtablineas.Query(Exp,ElBitmap,#VTAB_SELTYPE_NEW)
   Vtablineas.UpdateSelection
   Cuenta = ElBitmap.count

   if(cuenta > 1)then""""""""""""""""""""""""if1

       For Each r in ElBitmap""""""for2
         Marca = "Doble"
         Vtablineas.Setvalue(CampoDobleTramo,r,Marca)
       End """"""""""""for2

       Vtablineas.refresh
   End""""""""""""""""""""""""""""""""if1
   progreso = ((rec+1)/(Numnodos-1))*100
   estado= av.setstatus(progreso)
End""""""""""""""""""""""""""""""""""""for1

Guardar = msgbox.yesno("Deseas guardar ahora los cambios efectuados en las bases de datos de
                       nodos y arcos en la red?","Atención",true)
If(Guardar = true)then
  Vtablineas.SetEditable(false)
End
```

6. Ordena y numera los nodos que finalmente formarán parte del modelo de red

```
seg=msgBox.yesno("Este proceso genera cambios en la base de datos de los nodos de la red,
                 deseas continuar?","Atención",true)
if(seg=false)then
 exit
End

tabla = av.GetProject.FindDoc("Tabla Nodos")
Vtab_Nodos = tabla.GetVtab
```

```
If(Vtab_Nodos.IsEditable.not)then
  editar=msgBox.yesno("La tabla de nodos no está en modo de edición, deseas hacerla editable
                       ahora?","Atención",true)
  If(editar=false)then
    exit
  Else
    Vtab_Nodos.SetEditable(true)
  End
end

Vtab_Nodos.SetEditable(true)
Busca = Vtab_Nodos.FindField("NodeNew")
If (Busca = nil) then
   Campo_Nuevo = Field.Make("NodeNew",#FIELD_SHORT,6,0)
   Vtab_Nodos.AddFields({Campo_Nuevo})
End

Campo = Vtab_Nodos.FindField("Red_Nodos")
List_Campos = {Campo}
List_Dir = {true}
Vtab_Nod_Sort =VtabSort.Make(Vtab_Nodos,List_Campos,List_Dir,False,False).GetVtab

CNodo = Vtab_Nod_Sort.FindField("NodeNew")
num =1

For each rec in Vtab_Nodos
   Vtab_Nodos.SetValue(CNodo,rec,num)
   num=num+1
   progreso = ((rec+1)/(Vtab_Nodos.GetNumRecords))*100
   estado= av.setstatus(progreso)
End

Guardar = msgbox.yesno("Deseas guardar ahora los cambios efectuados en las bases de datos de
                        los nodos en la red?","Atención",true)
If(Guardar = true)then
  Vtab_Nodos.SetEditable(False)
  Vtab_nodos.Refresh
End
```

7. Actualiza las etiquetas de nodos inicial y final de los arcos de la red

```
seg=msgBox.yesno("Este proceso genera cambios en la base de datos de los arcos de la red,
                  deseas continuar?","Atención",true)
if(seg=false)then
  exit
End
```

```
Proyecto = av.getproject
Tabla_Lineas = Proyecto.FindDoc("Tabla Arcos")
Vtab_Lineas = Tabla_Lineas.GetVtab
Num_Arcos = Vtab_Lineas.GetNumRecords

Tabla_Puntos = Proyecto.FindDoc("Tabla Nodos")
Vtab_Puntos = Tabla_Puntos.GetVtab
Num_Nodos = Vtab_Puntos.GetNumRecords

Vtab_Lineas.SetEditable(true)

If (Vtab_Lineas.FindField("FnodeNew") = Nil)then
   NCFN = Field.Make("FnodeNew",#FIELD_SHORT,6,0)
   List_NCFN = {NCFN}
   Vtab_Lineas.AddFields(List_NCFN)
End

If (Vtab_Lineas.FindField("TnodeNew") = Nil)then
   NCTN = Field.Make("TnodeNew",#FIELD_SHORT,6,0)
   List_NCTN = {NCTN}
   Vtab_Lineas.AddFields(List_NCTN)
End

CFN = Vtab_Lineas.FindField("Fnode_")
CTN = Vtab_Lineas.FindField("Tnode_")

NCFN = Vtab_Lineas.FindField("FnodeNew")
NCTN = Vtab_Lineas.FindField("TnodeNew")
CRC = Vtab_Puntos.Findfield("Red_Nodos")
CNN = Vtab_Puntos.Findfield("NodeNew")

For Each NodoActual in Vtab_Puntos''""""""""""""""""""1
      NodoEnProceso = NodoActual+1
      NodoAComparar = Vtab_Puntos.ReturnValue(CRC,NodoActual).AsString

      Exp1="([Red_Nodos] = "+NodoAComparar+")"
      ElBitmap1 = Vtab_Puntos.GetSelection
      Sel1 = Vtab_Puntos.Query(Exp1,ElBitmap1,#VTAB_SELTYPE_NEW)
      Vtab_Puntos.UpdateSelection

      Exp2="([Fnode_] = "+NodoAComparar+")or([Tnode_] = "+NodoAComparar+")"
      ElBitmap2 = Vtab_Lineas.GetSelection
      Sel1 = Vtab_Lineas.Query(Exp2,ElBitmap2,#VTAB_SELTYPE_NEW)
      Vtab_Lineas.UpdateSelection
```

```
    cuenta = ElBitmap2.count
    If(cuenta >0)then""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""2
        For Each ArcoActual in ElBitmap2""""""""""""""""""""""""""3
            FnodeActual = Vtab_Lineas.ReturnValue(CFN,ArcoActual).AsString
            TNodeActual = Vtab_Lineas.ReturnValue(CTN,ArcoActual).AsString
            NodoAsignar = Vtab_Puntos.ReturnValue(CNN,NodoActual).AsString
            If (NodoAComparar = FnodeActual) then""""""""""""""4
               AsignaFNodo = Vtab_Lineas.SetValue(NCFN,ArcoActual,NodoAsignar)
            ElseIf(NodoAComparar = TnodeActual) then
               AsignaFNodo = Vtab_Lineas.SetValue(NCTN,ArcoActual,NodoAsignar)
            End""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""4
            Vtab_Lineas.Refresh
        End""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""3
    End""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""2
  progreso = (NodoEnproceso/(Vtab_Puntos.GetNumRecords))*100
  estado= av.setstatus(progreso)

End""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""1

Guardar = msgbox.yesno("Deseas guardar ahora los cambios efectuados en las bases de datos de
                        los nodos en la red?","Atención",true)
If(Guardar = true)then
  Vtab_Lineas.SetEditable(False)
  Vtab_Lineas.Refresh
End
```

8. Crea el archivo de texto con la información necesario para el modelo de red en STAN

```
nom = FileDialog.Put("d211.in".asfilename,"*.in","Crear Archivo")
If(nom=nil)then
  exit
End
d211 = LineFile.Make(nom,#FILE_PERM_WRITE)
proy = av.GetProject
VtabPuntos = proy.FindDoc("Tabla Nodos").GetVtab
VtabLineas = proy.FindDoc("Tabla Arcos").GetVtab

CRC=  VtabPuntos.FindField("NodeNew")
CX =  VtabPuntos.FindField("X_coord")
CY =  VtabPuntos.FindField("Y_coord")
CUsr1= VtabPuntos.FindField("Ui1")
```

```
CUsr2= VtabPuntos.FindField("Ui2")
CUsr3= VtabPuntos.FindField("Ui3")
CLab= VtabPuntos.FindField("Label")

Expr = "([Centroides] = 1)"
ElBitMap = VtabPuntos.GetSelection
seleccion = VtabPuntos.Query(Expr,ElBitMap,#VTAB_SELTYPE_NEW)

cuenta = ElBitmap.count

CadenaTexto1 = "t nodes init"
d211.writeElt(CadenaTexto1)

For Each punto in ElBitmap
   NumNodo = VtabPuntos.ReturnValue(CRC,punto).AsString
   X = VtabPuntos.ReturnValue(CX,punto).setformat("d.ddddd").AsString
   Y = VtabPuntos.ReturnValue(CY,punto).setformat("d.ddddd").AsString
   Usr1=VtabPuntos.ReturnValue(CUsr1,punto).setformat("d.dd").AsString
   Usr2=VtabPuntos.ReturnValue(CUsr2,punto).setformat("d.dd").AsString
   Usr3=VtabPuntos.ReturnValue(CUsr3,punto).setformat("d.dd").AsString
   Lab= VtabPuntos.ReturnValue(CLab,punto)
   CadenaTexto2= "a*"++NumNodo++X++Y++Usr1++Usr2++Usr3++Lab
   d211.writeElt(CadenaTexto2)
End

Expr2 = "([Centroides] = 0)"
ElBitMap2 = VtabPuntos.GetSelection
seleccion = VtabPuntos.Query(Expr2,ElBitMap2,#VTAB_SELTYPE_NEW)
cuenta = ElBitmap2.count

For Each punto in ElBitmap2
   NumNodo = VtabPuntos.ReturnValue(CRC,punto).AsString
   X = VtabPuntos.ReturnValue(CX,punto).setformat("d.ddddd").AsString
   Y = VtabPuntos.ReturnValue(CY,punto).setformat("d.ddddd").AsString
   Usr1=VtabPuntos.ReturnValue(CUsr1,punto).setformat("d.dd").AsString
   Usr2=VtabPuntos.ReturnValue(CUsr2,punto).setformat("d.dd").AsString
   Usr3=VtabPuntos.ReturnValue(CUsr3,punto).setformat("d.dd").AsString
   Lab= VtabPuntos.ReturnValue(CLab,punto)
   CadenaTexto3= "a"++NumNodo++X++Y++Usr1++Usr2++Usr3++Lab
   d211.writeElt(CadenaTexto3)
End

CFNN = VtabLineas.FindField("Fnodenew")
CModo = VtabLineas.FindField("Modo")
CTNN = VtabLineas.FindField("Tnodenew")
Clong=VtabLineas.FindField("Long_av")
```

```
Ctipo=VtabLineas.FindField("Tipo")
CFct=VtabLineas.FindField("Fct_set")
CCap =VtabLineas.FindField("Capacidad")
CBeta=VtabLineas.FindField("Beta")
CPhil=VtabLineas.FindField("Phil")
CMset=VtabLineas.FindField("Mset")
CUsr1=VtabLineas.FindField("Ul1")
CUsr2=VtabLineas.FindField("Ul2")
CUsr3=VtabLineas.FindField("Ul3")

CadenaTexto4= "t links init"
d211.writeElt(CadenaTexto4)

For Each arco in VtabLineas
  NI= VtabLineas.ReturnValue(CFNN,arco).AsString
  Modo= VtabLineas.ReturnValue(CModo,arco).AsString
  NF= VtabLineas.ReturnValue(CTNN,arco).AsString
  Long =  VtabLineas.ReturnValue(CLong,arco)
  Long=(Long/1000).setformat("d.dd").AsString
  Tipo = VtabLineas.ReturnValue(CTipo,arco).AsString
  NumFunc =VtabLineas.ReturnValue(CFct,arco).AsString
  Cap= VtabLineas.ReturnValue(CCap,arco)
  Cap=(Cap/2).setformat("d.dd").AsString
  Beta =VtabLineas.ReturnValue(CBeta,arco).setformat("d.dd").AsString
  Phil =VtabLineas.ReturnValue(CPhil,arco).setformat("d.dd").AsString
  mset =VtabLineas.ReturnValue(CMset,arco).AsString
  Usr1= VtabLineas.ReturnValue(CUsr1,arco).setformat("d.dd").AsString
  Usr2= VtabLineas.ReturnValue(CUsr2,arco)
  Usr2=(Usr2/2).setformat("d.dd").AsString
  Usr3= VtabLineas.ReturnValue(CUsr3,arco)
  Usr3=(Usr3/2).setformat("d.dd").AsString
   CadenaTexto5=  "a"++NI++Modo++NF++Long++Tipo++NumFunc++Cap++Beta++Phil++mset++
                  Usr1++Usr2++Usr3
   CadenaTexto6=  "a"++NF++Modo++NI++Long++Tipo++NumFunc++Cap++Beta++Phil++mset++
                  Usr1++Usr2++Usr3
   d211.writeElt(CadenaTexto5)
   d211.writeElt(CadenaTexto6 )
end
d211.close
```

9. Crea el archivo de texto con la información, necesario para introducir las transferencias del modelo de red en STAN

```
nom = FileDialog.Put("d221.in".asfilename,"*.in","Crear Archivo")

If(nom=nil)then
  exit
End

d221 = LineFile.Make(nom,#FILE_PERM_WRITE)

'Obtener los strings

CadenaTexto1 = "t transfers init"
d221.writeElt(CadenaTexto1)


Proyecto = av.getproject

Tabla_Transfers = Proyecto.FindDoc("Tabla Transferencias")
Vtab_Transfers = Tabla_Transfers.GetVtab


Tabla_Puntos = Proyecto.FindDoc("Tabla Nodos")
Vtab_Puntos = Tabla_Puntos.GetVtab
Num_Nodos = Vtab_Puntos.GetNumRecords


CMOD = Vtab_Transfers.FindField("Modo")
CNN = Vtab_Puntos.FindField("NodeNew")
CFCT= Vtab_Transfers.FindField("Fct_set")
CPHIT= Vtab_Transfers.FindField("Phit")
CUT1= Vtab_Transfers.FindField("Ut1")
CUT2=Vtab_Transfers.FindField("Ut2")
CUT3=Vtab_Transfers.FindField("Ut3")
CFNN = Vtab_Transfers.FindField("FnodeNew")
CTNN = Vtab_Transfers.FindField("TnodeNew")


For Each Nodo in 0..(Num_Nodos-1)""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""

      NodoAComparar = Vtab_Puntos.ReturnValue(CNN,Nodo).asstring

      Exp="([Fnodenew] = "+NodoAComparar+")or([Tnodenew] = "+NodoAComparar+")"

      ElBitmap = Vtab_Transfers.GetSelection

      Sel = Vtab_Transfers.Query(Exp,ElBitmap,#VTAB_SELTYPE_NEW)

      cuenta = ElBitmap.count


      For each transf in ElBitmap
          FCT =Vtab_Transfers.ReturnValue(CFCT,transf)
          PHIT=Vtab_Transfers.ReturnValue(CPHIT,transf)
          UT1 =Vtab_Transfers.ReturnValue(CUT1,transf)
          UT2 =Vtab_Transfers.ReturnValue(CUT2,transf)
          UT3 =Vtab_Transfers.ReturnValue(CUT3,transf)
      End

      Listamodos={}
      Listanodos={}
```

```
If(cuenta>=2)then

   For Each reg in ElBitmap''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
         modoi =Vtab_Transfers.ReturnValue(CMOD,reg)
         nodoF = Vtab_Transfers.Returnvalue(CFNN,reg)
         nodoT = Vtab_Transfers.Returnvalue(CTNN,reg)
         Listamodos.add(modoi)
         Listanodos.add(nodoF)
         Listanodos.add(nodoT)
   End''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''

   i=0
   m=cuenta-1

   For Each i in 0..(m-1)

       mi = Listamodos.get(i)
       FN1= Listanodos.get(i*2)
       TN1= Listanodos.get((i*2)+1)

       For Each j in (i+1)..m

            mj = Listamodos.get(j)

            FN2= Listanodos.get(j*2)

            TN2= Listanodos.get((j*2)+1)

            If(mi = mj)then
              continue
            ElseIf(((FN1=FN2)and(TN1=TN2))or((FN1=TN2)and(FN2=TN1)))then
             continue
            ElseIf(FN2=TN1)then''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''1
              ATN = FN2
              FNOD= FN1
              TNOD= TN2
           ElseIf(TN1=TN2)then
              ATN = TN2
              FNOD= FN1
              TNOD= FN2
            ElseIf(FN1=FN2)then
              ATN = FN2
              FNOD= TN1
              TNOD= TN2
            ElseIf(TN2=FN1)then
              ATN = FN1
              FNOD= TN1
              TNOD= FN2
            End

            CadenaTexto2 = "a"++ATN.asstring++FNOD.asstring++mi.asstring++
                  TNOD.asstring++mj.asstring++FCT.asstring++PHIT.setformat("d.dd").asstring
                  ++UT1.setformat("d.dd").asstring++UT2.setformat("d.dd").asstring
                  ++UT3.setformat("d.dd").asstring

            d221.writeElt(CadenaTexto2)
```

```
                CadenaTexto3 = "a"++ATN.asstring++TNOD.asstring++mj.asstring++
                    FNOD.asstring++mi.asstring++FCT.asstring++PHIT.setformat("d.dd").
                    asstring++ UT1.setformat("d.dd").asstring++UT2.setformat("d.dd").asstring++
                    UT3.setformat("d.dd").asstring

                d221.writeElt(CadenaTexto3)

            End
        End
    End
End

d221.close
```

10. Crea el archivo de texto con la información, necesario para la matriz de demanda en STAN

```
nom = FileDialog.Put("mf.in".asfilename,"*.in","Crear archivo de salida")

If(nom=nil)then
  exit
End

mf = LineFile.Make(nom,#FILE_PERM_WRITE)

lista={"Base de datos OD","Campo Peso","Nombre Matriz","Etiquete matriz","Modo de
Entrada","Desc. Matriz"}

sixcarac="6carac"
fortycarac="40 caracteres"

default={"prod1","Pesofinal","mf1",sixcarac,"0",fortycarac}

nomtabla=msgbox.MultiInput("Introducir datos","Datos de la matriz",lista,default)
tabla=av.finddoc(nomtabla.get(0))

Vtabla=tabla.GetVtab

CON=Vtabla.Findfield("Cen_orinew")
CDN=Vtabla.Findfield("Cen_desnew")
CPeso=Vtabla.Findfield(nomtabla.get(1))

CadenaTexto1 ="a"++nomtabla.get(2)++nomtabla.get(3).left(6)++nomtabla.get(4)++
              nomtabla.get(5).left(40)

mf.writeElt("t matrices"+NL+CadenaTexto1)

For each reg in Vtabla
  O=Vtabla.Returnvalue(CON,reg).AsString
  D=Vtabla.Returnvalue(CDN,reg).AsString
  Peso=(Vtabla.Returnvalue(CPeso,reg)).setformat("d.ddddd").AsString
  CadenaTexto =O++D+":"+Peso
  mf.writeElt(CadenaTexto)
End

mf.close
```

11. Asigna una etiqueta a los nodos considerados como centroides para diferenciarlos de los nodos regulares

```
proy =av.getProject

TablaLineas =proy.FindDoc("Tabla Nodos")
VtabLineas = TablaLineas.GetVtab

Campo = VtabLineas.Findfield("centroides")
'Estado =MsgBox.Input("Introduce Clave de Centroide", "Clave de Estado","0")

For Each Arco in VtabLineas.GetSelection
   AsignaX = VtabLineas.SetValue(Campo,Arco,1)
End

VtabLineas.Refresh
```

12. Asigna una etiqueta a los arcos para definirlos como conectores de centroide

```
proy =av.getProject

TablaLineas =proy.FindDoc("Tabla Arcos")
VtabLineas = TablaLineas.GetVtab

Campo = VtabLineas.Findfield("modo")

For Each Arco in VtabLineas.GetSelection
   AsignaX = VtabLineas.SetValue(Campo,Arco,"x")
End

VtabLineas.Refresh
```

13. Asigna una etiqueta a los arcos para definir el Estado de la República Mexicana al cual pertenecen

```
proy =av.getProject

TablaLineas =proy.FindDoc("Tabla Arcos")
VtabLineas = TablaLineas.GetVtab

Campo = VtabLineas.Findfield("Estado")
Estado =MsgBox.Input("Introduce Clave de Estado", "Clave de Estado","AGS")

For Each Arco in VtabLineas.GetSelection
   AsignaX = VtabLineas.SetValue(Campo,Arco,Estado)
End

VtabLineas.Refresh
```

14. Asigna una etiqueta a los arcos para definirlos como arcos extra

```
proy =av.getProject

TablaLineas =proy.FindDoc("Tabla Arcos")
VtabLineas = TablaLineas.GetVtab

Campo = VtabLineas.Findfield("mod")

For Each Arco in VtabLineas.GetSelection
   AsignaX = VtabLineas.SetValue(Campo,Arco,"e")
End

VtabLineas.Refresh
```

15. Asigna una etiqueta a los nodos considerados como centroides, la cual servirá como identificador de centroide en STAN

```
proy =av.GetProject

VtabPuntos = proy.FindDoc("Tabla Nodos").GetVtab
Campo = VtabPuntos.Findfield("Localidad")
Campo2 =VtabPuntos.Findfield("Label")

For each cent in VtabPuntos
    localidad = VtabPuntos.returnvalue(Campo,cent)
    etiqueta = localidad.left(4)
    VtabPuntos.setvalue(Campo2,cent,etiqueta)
    VtabPuntos.refresh
End
```

16. Asigna al modelo de red en ArcView los flujos asignados en el modelo de Red en STAN

```
proy=av.getproject
Vtabarcos=proy.finddoc("Tabla Arcos").getvtab

CFn=Vtabarcos.findfield("Fnodenew")

CTn=Vtabarcos.findfield("Tnodenew")

Cm1=Vtabarcos.findfield("Modo")

Cfl=Vtabarcos.findfield("flujos")


Vtabvol=proy.finddoc("voltotr.dbf").getvtab

Cin=Vtabvol.findfield("inode")

Cjn=Vtabvol.findfield("jnode")

Cm2=Vtabvol.findfield("M")

Cvol=Vtabvol.findfield("Result")
```

```
For each reg1 in vtabarcos
  Fnode=Vtabarcos.returnvalue(CFn,reg1)
  Tnode=Vtabarcos.returnvalue(CTn,reg1)
  modo1=Vtabarcos.returnvalue(Cm1,reg1)
  For each reg2 in Vtabvol
    inode=Vtabvol.returnvalue(Cin,reg2)
    jnode=Vtabvol.returnvalue(Cjn,reg2)
    modo2=Vtabvol.returnvalue(Cm2,reg2)
    If((Fnode=inode)and(Tnode=jnode)and(modo1=modo2))then
        vol=Vtabvol.returnvalue(Cvol,reg2)
        vtabarcos.setvalue(Cfl,reg1,vol)
        vtabarcos.refresh
        break
    else
       continue
    End
  End
End
x=0
```

17. Hace un "zoom" visual en intervalos de 500%

```
av.GetProject.SetModified(true)
theView = av.GetActiveDoc
theView.GetDisplay.ZoomOut(1500)
```

18. Llama la barra de herramientas principal creada por el usuario en ArcVIew

```
Dialogo1=av.GetProject.FindDoc("Procesa Red Física --> STAN") .Getdialog.Open
```

19. Llama la barra de herramientas auxiliar creada por el usuario en ArcVIew

```
Dialogo1=av.GetProject.FindDoc("conectores") .Getdialog.Open
```

A N E X O B

Listado de centroides

ANEXO B. Listado de Centroides.

Se muestra un listado de las poblaciones consideradas como centroides para este trabajo.

En la tabla A.1 se presenta dicho listado con las 573 poblaciones seleccionadas; se puede observar el nombre de la población, el número de nodo que le corresponde en el modelo de red elaborado, y el estado de la República al cual pertenece.

Tabla A.1. Listado de centroides

N°	LOCALIDAD	NUM_NODO	EDO
1	AGUASCALIENTES	1163	AGS
2	CALVILLO	1184	AGS
3	JESUS MARÍA	1137	AGS
4	PABELLÓN DE ARTEAGA	1095	AGS
5	RINCÓN DE ROMOS	1074	AGS
6	ENSENADA	62	BCN
7	MEXICALI	12	BCN
8	PLAYAS DE ROSARITO	44	BCN
9	SANTA ISABEL	21	BCN
10	TECATE	4	BCN
11	TIJUANA	9	BCN
12	CABO SAN LUCAS	951	BCS
13	LA PAZ	782	BCS
14	SANTA ROSALÍA	296	BCS
15	CAMPECHE	1894	CAM
16	CD. DEL CARMEN	2943	CAM
17	CHAMPOTÓN	2176	CAM
18	SAN FCO. ESCÁRCEGA	2914	CAM
19	ALLENDE	248	COH
20	CASTAÑOS	366	COH
21	CD. ACUÑA	179	COH
22	FCO. I. MADERO	496	COH
23	FRONTERA	356	COH
24	MATAMOROS	608	COH
25	MONCLOVA	359	COH
26	MÚZQUIZ	280	COH
27	NAVA	238	COH
28	NUEVA ROSITA	277	COH
29	PALAU	279	COH
30	PARRAS	644	COH
31	PIEDRAS NEGRAS	211	COH
32	RAMOS ARIZPE	599	COH

N°	LOCALIDAD	NUM_NODO	EDO
33	SABINAS	282	COH
34	SALTILLO	649	COH
35	SAN BUENAVENTURA	334	COH
36	SAN PEDRO DE LAS COLONIAS	508	COH
37	TORREÓN	601	COH
38	ARMERIA	2964	COL
39	COLIMA	2731	COL
40	MANZANILLO	2888	COL
41	TECOMÁN	2991	COL
42	VILLA DE ÁLVAREZ	2708	COL
43	ALDAMA	197	CHI
44	BUENAVENTURA	146	CHI
45	CAMARGO	289	CHI
46	CASAS GRANDES	136	CHI
47	CIUDAD DELICIAS	260	CHI
48	CIUDAD JUÁREZ	80	CHI
49	CUAUHTÉMOC	228	CHI
50	CHIHUAHUA	209	CHI
51	HIDALGO DEL PARRAL	345	CHI
52	JIMÉNEZ	327	CHI
53	MEOQUI	253	CHI
54	NUEVO CASAS GRANDES	134	CHI
55	OJINAGA	155	CHI
56	VILLA AHUMADA	130	CHI
57	ARRIAGA	3627	CHS
58	BERRIOZÁBAL	3510	CHS
59	CINTALAPA DE FUIGEROA	3554	CHS
60	CIUDAD HIDALGO	3691	CHS
61	COMITÁN DE DOMÍNGUEZ	3611	CHS
62	CHIAPA DE CORZO	3545	CHS
63	HUIXTLA	3675	CHS
64	MOTOZINTLA	3671	CHS
65	OCOZOCOAUTLA DE ESPINOSA	3536	CHS
66	PALENQUE	3364	CHS
67	PICHUCALCO	3383	CHS
68	REFORMA	3301	CHS
69	SAN CRISTÓBAL DE LAS CASAS	3523	CHS
70	TAPACHULA	3685	CHS
71	TONALÁ	3646	CHS
72	TUXTLA GUTIÉRREZ	3529	CHS
73	VILLAFLORES	3618	CHS
74	MÉXICO	2504	D F
75	CUENCAME	717	DGO
76	DURANGO	819	DGO
77	EL SALTO	853	DGO

N°	LOCALIDAD	NUM_NODO	EDO
78	GÓMEZ PALACIO	582	DGO
79	GPE. VICTORIA	773	DGO
80	LERDO	613	DGO
81	NAZAS	678	DGO
82	SANTA MARÍA DEL ORO	436	DGO
83	SANTIAGO PAPASQUIARO	700	DGO
84	VICENTE GUERRERO	870	DGO
85	ACAPULCO DE JUÁREZ	3561	GRO
86	ARCELIA	3222	GRO
87	ATOYAC DE ÁLVAREZ	3478	GRO
88	CIUDAD ALTAMIRANO	3195	GRO
89	CHILAPA	3407	GRO
90	CHILPANCINGO DE LOS BRAVO	3427	GRO
91	HUITZUCO	3211	GRO
92	IGUALA DE LA INDEPENDENCIA	3193	GRO
93	PETATLÁN	3433	GRO
94	TAXCO	3135	GRO
95	TECPAN DE GALEANA	3475	GRO
96	TELOLOAPAN	3182	GRO
97	TIXTLA DE GUERRERO	3416	GRO
98	TLAPA DE COMONFORT	3420	GRO
99	ZIHUATANEJO	3403	GRO
100	ZUMPANGO	3397	GRO
101	ABASOLO	1798	GTO
102	ACÁMBARO	2029	GTO
103	APASEO EL ALTO	1793	GTO
104	APASEO EL GRANDE	1736	GTO
105	CELAYA	1770	GTO
106	COMONFORT	1636	GTO
107	CORTÁZAR	1788	GTO
108	DOLORES HIDALGO	1460	GTO
109	DR. MORA	1465	GTO
110	GUANAJUATO	1518	GTO
111	IRAPUATO	1660	GTO
112	JARAL DEL PROGRESO	1833	GTO
113	JUVENTINO ROSAS	1671	GTO
114	LEÓN	1470	GTO
115	MANUEL DOBLADO	1631	GTO
116	MOROLEÓN	1984	GTO
117	PÉNJAMO	1811	GTO
118	PURÍSIMA DEL RINCÓN	1510	GTO
119	ROMITA	1581	GTO
120	SALAMANCA	1718	GTO
121	SALVATIERRA	1929	GTO
122	SAN FELIPE	1337	GTO
123	SAN LUIS DE LA PAZ	1407	GTO

N°	LOCALIDAD	NUM_NODO	EDO
124	SAN MIGUEL ALLENDE	1560	GTO
125	SILAO	1552	GTO
126	SN. FRANCISO DEL RINCÓN	1515	GTO
127	SN. JOSÉ ITURBIDE	1527	GTO
128	URIANGATO	1967	GTO
129	VALLE DE SANTIAGO	1821	GTO
130	VILLAGRÁN	1762	GTO
131	YURIRIA	1930	GTO
132	ACTOPAN	1869	HGO
133	APAN	2186	HGO
134	ATOTONILCO DE TULA	2033	HGO
135	ATOTONILCO EL GRANDE	1857	HGO
136	CIUDAD SAHAGÚN	2159	HGO
137	CUAUTEPEC DE HINOJOSA	2021	HGO
138	HUEJUTLA	1451	HGO
139	HUICHAPAN	1823	HGO
140	IXMIQUILPAN	1781	HGO
141	MIXQUIAHUALA	1901	HGO
142	PACHUCA DE SOTO	1966	HGO
143	PACHUQUILLA	1995	HGO
144	PROGRESO DE ÁLVARO OBREGÓN	1890	HGO
145	SINGUILUCAN	2042	HGO
146	TENANGO DE DORIA	1827	HGO
147	TEPEJI DE OCAMPO	2070	HGO
148	TEZONTEPEC DE ALDAMA	1926	HGO
149	TIZAYUCA	2120	HGO
150	TULA DE ALLENDE	2016	HGO
151	TULANCINGO	1986	HGO
152	ZIMAPÁN	1621	HGO
153	AMECA	1734	JAL
154	ARANDAS	1643	JAL
155	ATOTONILCO EL ALTO	1733	JAL
156	AUTLÁN DE NAVARRO	2173	JAL
157	CIHUATLÁN	2725	JAL
158	CIUDAD GUZMÁN	2209	JAL
159	COCULA	1829	JAL
160	COLOTLAN	1102	JAL
161	CHAPALA	1871	JAL
162	DEGOLLADO	1804	JAL
163	EL SALTO	1766	JAL
164	ENCARNACIÓN DE DÍAZ	1322	JAL
165	GUADALAJARA	1658	JAL
166	JALOSTOTITLÁN	1455	JAL
167	LA BARCA	1882	JAL
168	LAGOS DE MORENO	1383	JAL
169	LAS PINTITAS	1723	JAL

N°	LOCALIDAD	NUM_NODO	EDO
170	MAZAMITLA	2078	JAL
171	NUEVO MÉXICO	1618	JAL
172	OCOTLÁN	1838	JAL
173	PUERTO VALLARTA	1674	JAL
174	QUITUPAN	2079	JAL
175	SAN JUAN DE LOS LAGOS	1427	JAL
176	SAN JULÍAN	1524	JAL
177	SAN MIGUEL EL ALTO	1511	JAL
178	SAYULA	2110	JAL
179	TALA	1664	JAL
180	TAMAZULA DE GORDIANO	2231	JAL
181	TEOCALTICHE	1357	JAL
182	TEPATITLÁN DE MORELOS	1597	JAL
183	TEQUILA	1577	JAL
184	TESISTAN	1602	JAL
185	TLAQUEPAQUE	1672	JAL
186	TONALÁ	1678	JAL
187	TUXPAN	2345	JAL
188	YAHUALICA	1449	JAL
189	ZACOALCO	1913	JAL
190	ZAPOPAN	1641	JAL
191	ZAPOTILTIC	2290	JAL
192	ZAPOTLANEJO	1695	JAL
193	ACULCO	1993	MEX
194	ALMOLOYA DE JUÁREZ	2549	MEX
195	AMECAMECA	2799	MEX
196	APAXCO	2045	MEX
197	ATLACOMULCO	2153	MEX
198	BUENAVISTA	2295	MEX
199	CALIMAYA	2794	MEX
200	CAPULHUAC	2769	MEX
201	CIUDAD LÓPEZ MATEOS	2327	MEX
202	COACALCO	2263	MEX
203	COATEPEC DE LAS BATEAS	2807	MEX
204	COATEPEC HARINAS	2971	MEX
205	COATLINCHAN	2432	MEX
206	COYOTEPEC	2166	MEX
207	CUAUTITLÁN DE ROMERO RUBIO	2226	MEX
208	CUAUTITLÁN IZCALLI	2245	MEX
209	CHALCO	2675	MEX
210	CHICOLOAPAN	2471	MEX
211	CHICONCUAC	2330	MEX
212	CHIMALHUACAN	2467	MEX
213	ECATEPEC	2284	MEX
214	FUENTES DEL VALLE	2260	MEX
215	HUEHUETOCA	2130	MEX

N°	LOCALIDAD	NUM_NODO	EDO
216	HUIXQUILUCAN	2546	MEX
217	IXTAPALUCA	2612	MEX
218	IXTAPAN DE LA SAL	3032	MEX
219	JILOTEPEC	2063	MEX
220	LERMA	2656	MEX
221	LOS REYES ACAQUILPAN	2547	MEX
222	LOS REYES ACOZAC	2183	MEX
223	MELCHOR OCAMPO	2199	MEX
224	METEPEC	2711	MEX
225	NAUCALPAN	2421	MEX
226	NEZAHUALCÓYOTL	2490	MEX
227	OCOYOACAC	2677	MEX
228	OZUMBA	2889	MEX
229	SAN MARTÍN AZCATEPEC	2204	MEX
230	SAN MATEO ATARASQUILLO	2607	MEX
231	SAN MATEO ATENCO	2696	MEX
232	SAN PABLO AUTOPAN	2565	MEX
233	SAN PABLO DE LAS SALINAS	2227	MEX
234	SAN RAFAEL	2738	MEX
235	SANTIAGO TIANGUISTENCO	2783	MEX
236	TEJUPILCO	3005	MEX
237	TEMASCALTEPEC	2898	MEX
238	TENANCINGO	2948	MEX
239	TENANGO DE ARISTA	2834	MEX
240	TEOLOYUCAN	2180	MEX
241	TEOTIHUACÁN	2202	MEX
242	TEPEXPAN	2272	MEX
243	TEPOTZOTLÁN	2193	MEX
244	TEQUIXQUIAC	2076	MEX
245	TEXCOCO	2368	MEX
246	TEYAHUALCO	2234	MEX
247	TLALNEPANTLA	2348	MEX
248	TLAZALA	2332	MEX
249	TOLUCA	2664	MEX
250	TULTEPEC	2207	MEX
251	TULTITLÁN	2241	MEX
252	VALLE DE BRAVO	2774	MEX
253	VILLA GUERRERO	2938	MEX
254	VILLA NICOLÁS ROMERO	2273	MEX
255	XICO	2674	MEX
256	XONACATLAN	2493	MEX
257	ZINACANTEPEC	2673	MEX
258	ZITLALTEPEC	2141	MEX
259	ZUMPANGO	2139	MEX
260	ÁLVARO OBREGÓN	2146	MIC
261	APATZINGAN	2878	MIC

N°	LOCALIDAD	NUM_NODO	EDO
262	ARIO DE ROSALES	2778	MIC
263	BRISEÑAS	1887	MIC
264	CD. HIDALGO	2240	MIC
265	COAHUAYANA	2160	MIC
266	COTIJA DE LA PAZ	2067	MIC
267	CUITZEO	3117	MIC
268	HUETAMO	2075	MIC
269	JACONA	2059	MIC
270	JIQUILPAN	1846	MIC
271	LA PIEDAD	3329	MIC
272	LAS GUACAMAYAS	3347	MIC
273	LÁZARO CÁRDENAS	2324	MIC
274	LOS REYES	2104	MIC
275	MARAVATÍO	2223	MIC
276	MORELIA	2920	MIC
277	NUEVA ITALIA	2268	MIC
278	PARACHO	2402	MIC
279	PATZCUARO	2006	MIC
280	PURUÁNDIRO	2253	MIC
281	QUIROGA	2022	MIC
282	AZUAYO	2049	MIC
283	SAN JOSÉ DE GRACIA	2037	MIC
284	SANTA ANA MAYA	2520	MIC
285	SANTA CLARA DEL COBRE	2746	MIC
286	TACÁMBARO	2109	MIC
287	TANGANCÍCUARO	2333	MIC
288	TUXPAN	2500	MIC
289	URUAPAN	3068	MIC
290	YURÉCUARO	1848	MIC
291	ZACAPU	2155	MIC
292	ZAMORA	2053	MIC
293	ZINAPECUARO	2128	MIC
294	ZITACUARO	2476	MIC
295	AXOCHIAPAN	3145	MOR
296	CIUDAD AYALA	3057	MOR
297	CUAUTLA	3037	MOR
298	CUERNAVACA	2972	MOR
299	EMILIANO ZAPATA	3031	MOR
300	JIUTEPEC	3007	MOR
301	JOJUTLA	3105	MOR
302	PUENTE DE IXTLA	3106	MOR
303	SANTA ROSA TREINTA	3082	MOR
304	TEMIXCO	3024	MOR
305	TLAQUILTENANGO	3100	MOR
306	XOXOCOTLA	3089	MOR
307	YAUTEPEC	3008	MOR

N°	LOCALIDAD	NUM_NODO	EDO
308	ZACATEPEC	3095	MOR
309	AGUALEGUAS	404	N L
310	ALLENDE	671	N L
311	ANÁHUAC	319	N L
312	APODACA	491	N L
313	CADEREYTA	566	N L
314	CERRALVO	418	N L
315	CIÉNEGA DE FLORES	442	N L
316	COLOMBIA	3697	N L
317	CHINA	517	N L
318	DR. ARROYO	882	N L
319	GALEANA	735	N L
320	GENERAL PEDRO ESCOBEDO	484	N L
321	GENERAL TERAN	673	N L
322	GRAL. BRAVO	480	N L
323	GUADALUPE	532	N L
324	HIDALGO	439	N L
325	LINARES	718	N L
326	LOS RAMONES	521	N L
327	MINA	433	N L
328	MONTEMORELOS	688	N L
329	MONTERREY	538	N L
330	SABINAS HGO.	382	N L
331	SALINAS VICTORIA	440	N L
332	SAN NICOLÁS DE LOS GARZA	513	N L
333	SAN PEDRO GARZA GARCIA	541	N L
334	SANTA CATARINA	533	N L
335	SANTIAGO	633	N L
336	ACAPONETA	1017	NAY
337	COMPOSTELA	1419	NAY
338	IXTLÁN DEL RÍO	1500	NAY
339	SAN BLAS	1292	NAY
340	TECUALA	1038	NAY
341	TEPIC	1313	NAY
342	TUXPAN	1131	NAY
343	XALISCO	1344	NAY
344	CIUDAD IXTEPEC	3593	OAX
345	CUICATLÁN	3359	OAX
346	HUAUTLA	3267	OAX
347	JUCHITÁN DE ZARAGOZA	3607	OAX
348	LOMA BONITA	3264	OAX
349	MATIAS ROMERO	3515	OAX
350	NOCHIXTLÁN	3437	OAX
351	OAXACA DE JUÁREZ	3491	OAX
352	OCOTLÁN DE MORELOS	3564	OAX

N°	LOCALIDAD	NUM_NODO	EDO
353	PEDRO POCHUTLA	3698	OAX
354	PINOTEPA NACIONAL	3633	OAX
355	PUTLA	3506	OAX
356	REYES ETLA	3465	OAX
357	SALINA CRUZ	3643	OAX
358	SAN JUAN TEPOSCOLULA	3405	OAX
359	SANTA CRUZ XOXOCOTLÁN	3500	OAX
360	SANTA LUCÍA	3574	OAX
361	TAPANATEPEC	3614	OAX
362	TEHUANTEPEC	3624	OAX
363	TELIXTLAHUACA	3451	OAX
364	TEOTITLÁN	3272	OAX
365	TLAXIACO	3461	OAX
366	TUXTEPEC	3279	OAX
367	ACAJETE	2804	PUE
368	ACATLÁN	3252	PUE
369	ACATZINGO	2908	PUE
370	AJALPAN	3164	PUE
371	AMOZOC	2875	PUE
372	ATEXCAL	3162	PUE
373	ATLIXCO	2966	PUE
374	CAÑADA MORELOS	3054	PUE
375	CIUDAD SERDÁN	2893	PUE
376	CHOLULA	2854	PUE
377	HUAUCHINANGO	1910	PUE
378	HUEJOTZINGO	2781	PUE
379	IZÚCAR DE MATAMOROS	3111	PUE
380	LIBRES	2397	PUE
381	PUEBLA	2849	PUE
382	SAN ANDRÉS CHOLULA	2863	PUE
383	SAN JUAN ATENCO	2810	PUE
384	SAN JUAN IXCAQUIXTLA	3151	PUE
385	SAN MARTÍN TEXMELUCAN	2636	PUE
386	SAN SALVADOR EL SECO	2786	PUE
387	SANTA MARÍA MOYOTZINGO	2691	PUE
388	TECAMACHALCO	2974	PUE
389	TEHUACAN	3141	PUE
390	TEPEACA	2916	PUE
391	TEZIUTLÁN	2114	PUE
392	TLAXCALANCINGO	2233	PUE
393	XICOTEPEC DE JUÁREZ	1845	PUE
394	ZACATLÁN	2047	PUE
395	ZINACATEPEC	3176	PUE
396	CANCÚN	1153	Q R
397	COZUMEL	1426	Q R
398	CHETUMAL	2841	Q R

N°	LOCALIDAD	NUM_NODO	EDO
399	FELIPE CARRILLO PUERTO	1922	Q R
400	JOSE MARÍA MORELOS	1850	Q R
401	PLAYA DEL CARMEN	1386	Q R
402	AMEALCO	1932	QRO
403	CADEREYTA	1640	QRO
404	EL PUEBLITO	1752	QRO
405	EZEQUIEL MONTES	1657	QRO
406	PEDRO ESCOBEDO	1776	QRO
407	QUERÉTARO	1699	QRO
408	SAN JUAN DEL RÍO	1819	QRO
409	TEQUISQUIAPAN	1747	QRO
410	BENITO JUÁREZ(CPO. DE GOBIERNO)	742	SIN
411	COSTA RICA	751	SIN
412	CULIACÁN ROSALES	712	SIN
413	ESCUINAPA	968	SIN
414	GUAMUCHIL	588	SIN
415	GUASAVE	526	SIN
416	JUAN JOSÉ RÍOS	462	SIN
417	LA CRUZ DE ELOTA	828	SIN
418	MAZATLÁN	448	SIN
419	MOCHIS, LOS	926	SIN
420	NAVOLATO	727	SIN
421	ROSARIO	953	SIN
422	SAN IGNACIO	827	SIN
423	SINALOA DE LEYVA	450	SIN
424	AQUISMÓN	1264	SLP
425	CD. FERNÁNDEZ	1142	SLP
426	CIUDAD VALLES	1117	SLP
427	EBANO	1069	SLP
428	MATEHUALA	887	SLP
429	RÍO VERDE	1146	SLP
430	SALINAS	1000	SLP
431	SAN LUIS POTOSÍ	1089	SLP
432	SAN VICENTE TANCUAYALAB	1238	SLP
433	SOLEDAD	1083	SLP
434	TAMAZUNCHALE	1410	SLP
435	TAMUÍN	1113	SLP
436	VILLA DE REYES	1209	SLP
437	AGUA PRIETA	99	SON
438	CABORCA	116	SON
439	CANANEA	112	SON
440	CIUDAD OBREGÓN	294	SON
441	EMPALME	263	SON
442	ESPERANZA	285	SON
443	GUAYMAS	270	SON

N°	LOCALIDAD	NUM_NODO	EDO
444	HERMOSILLO	171	SON
445	HEROICA NOGALES	341	SON
446	HUATABAMPO	126	SON
447	MAGDALENA	191	SON
448	MIGUEL ALEMÁN	132	SON
449	NACOZARI	321	SON
450	NAVOJOA	92	SON
451	PTO. PEÑASCO	87	SON
452	SAN LUIS RÍO COLORADO	50	SON
453	SANTA ANA	127	SON
454	SONOYTA	73	SON
455	URES	150	SON
456	COMALCALCO	3149	TAB
457	CUNDUACAN	3207	TAB
458	EMILIANO ZAPATA	3312	TAB
459	FRONTERA	3050	TAB
460	H. CÁRDENAS	3257	TAB
461	HUIMANGUILLO	3314	TAB
462	MACUSPANA	3326	TAB
463	PARAÍSO	3103	TAB
464	TEAPA	3369	TAB
465	TENOSIQUE	3367	TAB
466	VILLA UNIÓN (MACUILTEPEC)	3173	TAB
467	VILLAHERMOSA	3238	TAB
468	ABASOLO	2453	TLX
469	ALTAMIRA	2304	TLX
470	CAMARGO	2599	TLX
471	CD. MANTE	2579	TLX
472	CD. MIGUEL ALEMÁN	2390	TLX
473	CD. VICTORIA	2600	TLX
474	CIUDAD MADERO	808	TMS
475	GONZÁLEZ	1031	TMS
476	JIMÉNEZ	401	TMS
477	LLERA DE CANALES	1057	TMS
478	MATAMOROS	980	TMS
479	MIRAMAR	392	TMS
480	NUEVO LAREDO	312	TMS
481	REYNOSA	867	TMS
482	RÍO BRAVO	970	TMS
483	SAN FERNANDO	794	TMS
484	SOTO LA MARINA	916	TMS
485	TAMPICO	457	TMS
486	VALLE HERMOSO	1044	TMS
487	VILLAGRÁN	420	TMS
488	APIZACO	430	TMS

N°	LOCALIDAD	NUM_NODO	EDO
489	CALPULALPAN	715	TMS
490	CUAPIAXTLA	855	TMS
491	HUAMANTLA	1058	TMS
492	SANCTÓRUM	519	TMS
493	TLAXCALA	768	TMS
494	A.DULCE	3199	VER
495	ACAYUCAN	3305	VER
496	ÁLAMO	1543	VER
497	ALTOTONGA	2140	VER
498	ALVARADO	2999	VER
499	ALLENDE	3212	VER
500	CARDEL	2443	VER
501	CARLOS A. CARRILO(SAN CRISTÓBAL)	3150	VER
502	CATEMACO	3133	VER
503	CD.MENDOZA	3018	VER
504	CERRO AZUL	1428	VER
505	COATEPEC	2373	VER
506	COATZACOALCOS	3208	VER
507	COATZINTLA	1732	VER
508	CÓRDOBA	2951	VER
509	COSAMALOAPAN DE CARPIO	3156	VER
510	COSCOMATEPEC	2808	VER
511	COSOLEACAQUE	3283	VER
512	CUITLÁHUAC	3013	VER
513	CHINAMECA	3280	VER
514	FORTÍN DE LAS FLORES	2946	VER
515	GUTIÉRREZ ZAMORA	1757	VER
516	HUATUSCO DE CUÉLLAR	2740	VER
517	HUAYACOCOTLA	1717	VER
518	INDEPENDENCIA	1979	VER
519	IXTACZOQUITLAN	2979	VER
520	JALTIPAN	3299	VER
521	JESÚS CARRANZA	3415	VER
522	LAS CHOAPAS	3308	VER
523	LERDO DE TEJADA	3063	VER
524	MARTÍNEZ DE LA TORRE	1977	VER
525	MINATITLÁN	3289	VER
526	MISANTLA	2034	VER
527	NANCHITAL	3241	VER
528	NARANJOS	1366	VER
529	NOGALES	3009	VER
530	ORIZABA	2996	VER
531	PÁNUCO	1104	VER
532	PAPANTLA	1774	VER
533	PEROTE	2293	VER
534	PLAN DE AYALA	1675	VER

N°	LOCALIDAD	NUM_NODO	EDO
535	PLAYA VICENTE	3346	VER
536	POZA RICA DE HIDALGO	1691	VER
537	RÍO BLANCO	2992	VER
538	SAN ANDRÉS TUXTLA	3126	VER
539	SANTIAGO TUXTLA	3121	VER
540	SAYULA DE ALEMÁN	3324	VER
541	TANTOYUCA	1370	VER
542	TIERRA BLANCA	3139	VER
543	TLAPACOYAN	2032	VER
544	TRES VALLES	3201	VER
545	TÚXPAM	1514	VER
546	VERACRUZ	2648	VER
547	VILLA ISLA	3293	VER
548	XALAPA	2292	VER
549	HUNUCMA	1324	YUC
550	KANASIN	1356	YUC
551	MÉRIDA	1345	YUC
552	MOTUL	1276	YUC
553	OXKUTZCAB	1598	YUC
554	PETO	1649	YUC
555	PROGRESO	1222	YUC
556	TEKAX	1612	YUC
557	TICUL	1564	YUC
558	TIZIMIN	1231	YUC
559	UMAN	1380	YUC
560	VALLADOLID	1403	YUC
561	CONCEPCIÓN DEL ORO	757	ZAC
562	FRESNILLO	937	ZAC
563	JALPA	1272	ZAC
564	JEREZ	996	ZAC
565	JUAN ALDAMA	789	ZAC
566	LORETO	1065	ZAC
567	OJO CALIENTE	1006	ZAC
568	RÍO GRANDE	859	ZAC
569	SOMBRERETE	892	ZAC
570	TLALTENANGO	1220	ZAC
571	VALPARAÍSO	979	ZAC
572	VILLA DE COS	922	ZAC
573	ZACATECAS	982	ZAC

CIUDAD DE MEXICO

Av. Patriotismo 683
Col. Mixcoac
03730, México, D. F.
Tel (55) 56 15 35 75
55 98 52 18
Fax (55) 55 98 64 57

SANFANDILA

Km. 12+000, Carretera
Querétaro-Galindo
76700, Sanfandila, Qro.
Tel (442) 2 16 97 77
2 16 96 46
Fax (442) 2 16 96 71

Internet: http://www.imt.mx
publicaciones@imt.mx