



**TECNOLOGICO
DE MONTERREY**

Biblioteca
Campus Ciudad de México

**TECNOLOGICO
DE MONTERREY**®

Campus Ciudad de México

División de Ingeniería y Arquitectura

Ingeniería en Sistemas Electrónicos

“Modelo de las rutas principales de la red vial dirigido a los servicios médicos de urgencias.”

Autor:

René Enrique Córdova Aguilar

Asesor del proyecto:

Dr. José Martín Molina Espinosa

Sinodales:

Dr. PATRICIA RAYÓN VILLELA
Dr. JOSÉ RAMÓN ÁLVAREZ BADA

Ciudad de México, D.F., Mayo 2008

Contenido

I.	Introducción.....	2
	I.1. Objetivo.....	2
	I.2. Alcances.....	2
	I.3. Justificación.....	2
	I.4. Limitaciones.....	2
	I.5. Antecedentes.....	3
	I.6. Estado del Arte.....	5
II.	Problemática.....	9
III.	Propuesta de Solución.....	9
IV.	Resultados y Pruebas.....	16
V.	Conclusiones y Trabajo Futuro.....	21
VI.	Actividades.....	22
VII.	Referencias.....	22
VIII.	Anexos	23
IX.	Póster	32

I. Introducción:

I.1 Objetivo:

Realizar un modelo que represente las rutas principales de la red vial de la ciudad de México incluyendo gran parte de sus características intrínsecas para ser aplicado en encontrar la ruta más rápida desde el lugar de la ambulancia a la ubicación del paciente y de la ubicación del paciente al hospital.

I.2 Alcances:

El proyecto se centrará en realizar un modelo que contenga algunas de las principales calles y avenidas de la ciudad de México representando hasta 50 arcos en una fase inicial y ofreciendo la capacidad de ser ampliado sin modificaciones al modelo.

En este modelo se establecerá una relación entre grafos realizados a partir de información sobre la distancia entre nodos y grafos realizados con velocidades que representen el peso del arco en cada calle. A partir de esta relación se podrá obtener un tiempo para cada peso del arco y posteriormente con el uso de algoritmos matemáticos encontrar la ruta más rápida.

Se utilizarán valores históricos y valores actuales (obtenidos por cámaras) para la generación del grafo de velocidades.

Se incorporarán comportamientos estadísticos como atributos de los grafos para poder realizar una búsqueda heurística.

I.3 Justificación:

La utilización de este sistema desde una unidad médica móvil proveerá de información muy valiosa para la toma de decisiones críticas sobre el tráfico en el momento de alguna urgencia médica reduciendo así el tiempo transcurrido para transportar al paciente al hospital y teniendo como beneficio una atención médica más rápida.

I.4 Limitaciones:

El modelo no representará la totalidad de las vías de la ciudad si no únicamente un máximo 50 arcos.

El modelo servirá únicamente para determinar el hospital al cual se llegaría más rápido, no necesariamente el más cercano.

El grafo puede ser ampliado con más calles y nodos pero para esto se necesitara conocer la estructura del archivo descriptor.

Los valores históricos sobre la velocidad serán estimados pero el sistema ofrece la capacidad de modificarlos sin que esto implique modificaciones al modelo.

1.5 Antecedentes:

En la actualidad diversos sistemas computacionales se han utilizado para encontrar el camino menos costoso entre diversas ubicaciones por ejemplo en la transportación de productos de una fábrica a las tiendas, entrega de correspondencia a los clientes etc... Para realizar esto existen diversas aplicaciones especializadas que con el uso de algoritmos matemáticos se dedican a explorar grafos y encontrar el camino menos costoso.

Estas aplicaciones se pueden encontrar en Internet y muchas veces no son enfocadas a algún sector en específico, ofrecen modelos generales en los que el usuario común tiene que asignar todos los valores del grafo manualmente lo que hace complicado el uso de estos sistemas por los usuarios.

Con estos antecedentes surge la idea de desarrollar un modelo capaz de analizar un grafo con el propósito específico de encontrar el camino más rápido a un hospital. Este modelo al ser ejecutado desde una unidad médica móvil será de gran ayuda en caso de urgencias en las que llegar a un hospital es una situación crítica y que la toma de una buena decisión puede marcar una diferencia en salvar la vida de un paciente.

Para el desarrollo de dicho modelo es necesario conocer la infraestructura de la ciudad en cuanto a vías públicas se refiere, tomando en cuenta las arterias principales ya que generalmente son las que cuentan con menos semáforos y baches lo que puede agilizar la circulación de una ambulancia.

En cuanto al desarrollo del modelo será necesario analizar los diversos métodos existentes para realizar grafos así como los diversos algoritmos que puedan analizar el camino más corto.

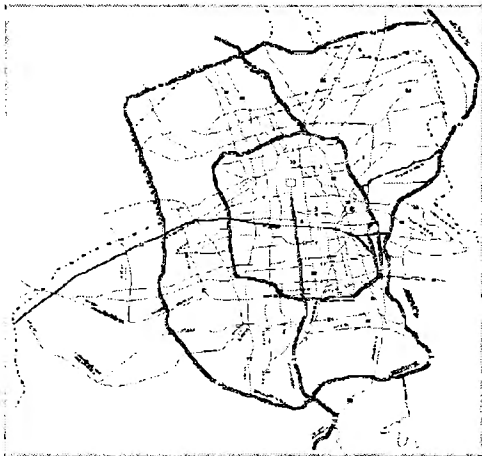
Vías principales de la Ciudad de México:

Son vías que por sus características geométricas y su capacidad para mover grandes volúmenes de tránsito, enlazan y articulan gran cantidad de viajes. Estas vialidades complementan la estructura de la red vial primaria y se caracterizan por su continuidad y sección transversal constante; este tipo de vialidades varían en su trazo y condiciones de operación de acuerdo a la zona geográfica en que se ubican. Así, en el oriente existe una amplia red, a diferencia de las zonas sur-poniente y

nor-poniente donde su número es reducido debido a la accidentada topografía. Y en el sentido norte sur hay carencia de vías que faciliten la distribución de los flujos vehiculares, las existentes tienen una traza en sentido oriente-poniente (como Sta. Lucía Centenario, Las Águilas y Desierto de los Leones), que operan deficientemente. Existe un total de 30 vías principales con una longitud de 205 kilómetros.

Particularmente algunas zonas presentan situaciones conflictivas por las siguientes causas: falta de continuidad, sección transversal insuficiente, reducción de la capacidad por el estacionamiento indiscriminado, intersecciones conflictivas o sin semáforos, topes excesivos y mal diseñados, mal estado del pavimento, maniobras de carga y descarga de mercancías del pequeño comercio, sin horario establecido, cierre de calles con plumas o rejas e insuficiencia de señalamiento.

Mapa de las vías principales:



Las principales vías que existen en la ciudad de México según la SETRAVI se encuentran en la sección de Anexos:

Tiempo de acceso y traslado

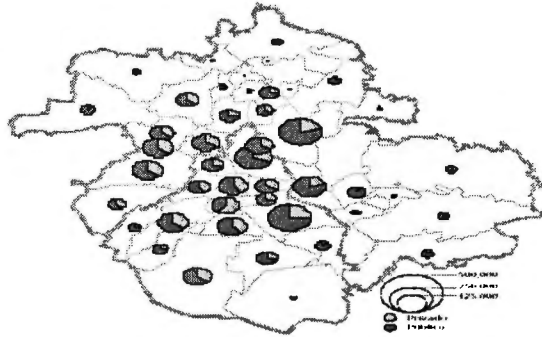
La magnitud de la demanda de viajes y el patrón con que día a día se llevan a cabo constituyen elementos que, por sí mismos, agregan un alto grado de complejidad para la atención de las demandas individuales y los requerimientos de la Ciudad en materia de transporte.

La coincidencia en espacio y tiempo que caracteriza el patrón de viajes de la ZMVM, muestra el predominio de un patrón radial, que encuentra su máxima expresión en el periodo matutino, como vimos en el capítulo 1, en el que millones de habitantes viajan de la periferia al centro o realizan viajes inter-entidades, para trasladarse a la escuela o al trabajo, y emplean para ello una insuficiente red vial y de transporte masivo.

El tiempo total por demoras que se acumulan en cada viaje es el principal indicador que engloba la problemática del transporte en la Ciudad, ya sea

público o privado, de pasajeros o carga. En el ámbito metropolitano las demoras son críticas en tres períodos al día, en los que, para algunos usuarios del transporte público, es mayor el tiempo ocasionado por demoras que el que pasarían a bordo de los vehículos.

Viajes generados por Delegación y Municipio en el periodo matutino (6:00 – 9:00)



1.6 Estado del arte:

El modelo se basará principalmente en el uso de grafos; artefactos matemáticos que permiten expresar de una forma visualmente muy sencilla y efectiva las relaciones que se dan entre diferentes elementos.

Un grafo simple está formado por dos conjuntos:

- Un conjunto V de puntos llamados vértices o nodos.
- Un conjunto de pares de vértices que se llaman aristas o arcos y que indican qué nodos están relacionados.

Entonces podemos decir que un grafo es un conjunto de nodos con enlaces entre ellos, denominados aristas o arcos. A lo largo del proyecto denominaremos aristas o arcos a las diferentes calles o avenidas que se estén modelando, y nodos a las intersecciones de las calles.

En teoría de grafos las formas de las aristas no son relevantes, sólo importa a qué vértices están unidas. La posición de los vértices tampoco importa, y se puede variar para obtener un grafo más claro. Prácticamente cualquier red puede ser modelada con un grafo: una red de carreteras que conecta ciudades, una red eléctrica o un alcantarillado.

En algunos casos es necesario asignar un sentido a las aristas, por ejemplo, si se quiere representar la red de las calles de la ciudad con sus direcciones únicas. El conjunto de aristas será ahora un subconjunto de todos los posibles pares ordenados de vértices, con $(a, b) \neq (b, a)$. Los grafos que contienen aristas dirigidas se denominan grafos orientados.

Las aristas no orientadas se consideran bidireccionales para efectos prácticos (equivale a decir que existen dos aristas orientadas entre los nodos, cada una en un sentido).

Un grafo es conexo si cada par de vértices está conectado por un camino; es decir, si para cualquier par de vértices (a, b) , existe al menos un camino posible desde a hacia b .

Un grafo es fuertemente conexo si cada par de vértices está conectado por al menos dos caminos disjuntos; es decir, es conexo y no existe un vértice tal que al sacarlo el grafo resultante sea desconexo.

El conjunto de los grafos completos es denominado usualmente \mathbb{K} , siendo \mathbb{K}_n el grafo completo de n vértices.

Grafos ponderados

En este caso será necesario asignar a cada arista un número específico, llamado ponderación o costo según el contexto, y así obtendremos un grafo valuado.

Formalmente, es un grafo con una función $v: A \rightarrow \mathbb{R}^+$.

Existen diversos algoritmos para obtener el camino más corto en un grafo por ejemplo se puede usar el algoritmo Dijkstra, también conocido como algoritmo de caminos mínimos, es un algoritmo para la determinación del camino más corto dado un vértice origen al resto de vértices en un grafo dirigido y con pesos en cada arista.

La asignación de valores para las aristas será a través del uso del modulo de actualización dinámica de una rama del arco el cual por medio de procesamiento de imágenes entregará una velocidad en kilómetros pro hora, para fines prácticos durante el desarrollo del proyecto se utilizarán valores históricos los cuales determinan el comportamiento de una calle/avenida para alguna hora del día, día de la semana, día del mes, etc.

Algoritmo de Dijkstra:

El algoritmo de Dijkstra, también llamado algoritmo de caminos mínimos, es un algoritmo para la determinación del camino más corto dado un vértice origen al resto de vértices en un grafo dirigido y con pesos en cada arista.

El algoritmo consiste en ir explorando todos los caminos más cortos que parten del vértice al origen y que llevan a todos los demás vértices; cuando se obtiene el camino más corto desde el vértice al origen, al resto de vértices que componen el grafo, el algoritmo se detiene. El algoritmo no funciona con aristas con costo negativo.

- Sea $G=(V,A)$ un grafo dirigido y etiquetado.
- Sean los vértices $a \in V$ y $z \in V$; a es el vértice de origen y z el vértice de destino.
- Sea un conjunto $C \subset V$, que contiene los vértices de V cuyo camino más corto desde a todavía no se conoce.
- Sea un vector D , con tantas dimensiones como elementos tiene V , y que "guarda" las distancias entre a y cada uno de los vértices de V .
- Sea, finalmente, otro vector, P , con las mismas dimensiones que D , y que conserva la información sobre qué vértice precede a cada uno de los vértices en el camino.

El algoritmo para determinar el camino de longitud mínima entre los vértices a y z es:

1. $C \leftarrow V$
2. Para todo vértice $i \in C$, $i \neq a$, se establece $D_i \leftarrow \infty$; $D_a \leftarrow 0$
3. Para todo vértice $i \in C$ se establece $P_i = a$
4. Se obtiene el vértice $s \in C$ tal que no existe otro vértice $w \in C$ tal que $D_w < D_s$
 - Si $s = z$ entonces se ha terminado el algoritmo.
5. Se elimina de C el vértice s : $C \leftarrow C - \{s\}$
6. Para cada arista $e \in A$ de longitud l , que une el vértice s con algún otro vértice $t \in C$,
 - Si $l + D_s < D_t$, entonces:
 1. Se establece $D_t \leftarrow l + D_s$
 2. Se establece $P_t \leftarrow s$
7. Se regresa al paso 4

Al terminar este algoritmo, en D_z estará guardada la distancia mínima entre a y z . Por otro lado, mediante el vector P se puede obtener el camino mínimo: en P_z estará y , el vértice que precede a z en el camino

mínimo; en Py estará el que precede a y, y así sucesivamente, hasta llegar a estado de enlace ru.

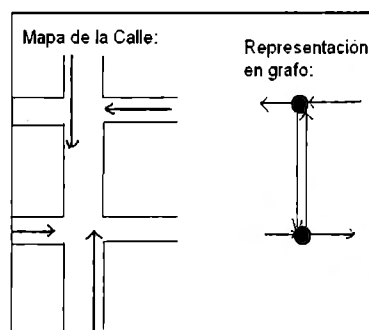
En otras palabras el algoritmo se puede describir así:

- Rotular todos los nodos a los que se puede llegar desde el nodo inicial con etiquetas temporales, la etiqueta que se les pondrá será [distancia desde el nodo inicial, Nombre del Nodo Inicial]. Aquí no nos va a importar que estos nodos tengan caminos desde otros nodos diferentes al nodo inicial, a diferencia del algoritmo anterior. Sencillamente se rotulan como se describió.
- Evaluar de todas los nodos con etiquetas temporales, cual posee la distancia más corta en la etiqueta. Marcarlo como Etiqueta Permanente (para esto puede usar un asterisco).
- Etiquetar todos los nodos a los que se pueda llegar desde el último nodo con etiqueta permanente, si ya tienen una etiqueta temporal, esta se reevalúa con respecto a la distancia del nodo permanente con que se está trabajando. Si la distancia que da (o sea la distancia de la etiqueta permanente + la distancia al nodo evaluado) es menor que la que tiene en la etiqueta ésta es cambiada por una nueva etiqueta con la distancia calculada a la de la etiqueta permanente.

Se chequean todas las etiquetas temporales existentes, la que tenga la distancia más pequeña se marca como etiqueta permanente y se repite el paso anterior hasta que todas las etiquetas sean permanentes.

Representación en grafo de las avenidas de una ciudad:

En el modelo definido se estableció que los cruces o desembocaduras de una calle son los nodos, así mismo se estableció que el grafo debe de ser dirigido para poder representar las calles que tienen doble sentido de esta manera se tomará un arco por cada sentido. Esto se representa con la siguiente imagen.



Se propuso que los arcos fueran las calles y avenidas principales los cuales cuentan con un peso específico que dependiendo del grafo puede ser la velocidad actual, la distancia o el tiempo.

II. Problemática:

El problema central es la falta de conocimiento sobre el estatus actual del tráfico en la ciudad y por ende el desconocimiento de la ruta más rápida que se debe tomar para llegar a un hospital en caso de urgencia.

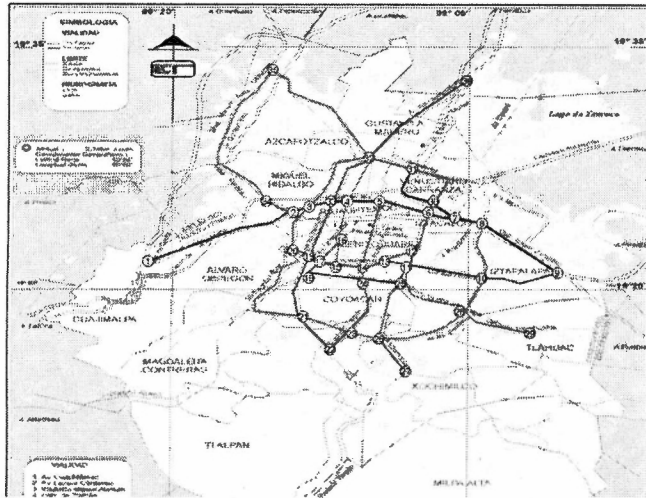
Así mismo se desconoce de un modelo que establezca mediante tiempos cual es la ruta más rápida que se debe tomar para optimizar el transporte. Esto se puede considerar como un problema ya que el tiempo es muy valioso para el paciente y el estar más tiempo en una ambulancia puede traer consecuencias graves al paciente.

III. Propuesta de Solución

Para poder resolver el problema durante el desarrollo del sistema se realizó una estrategia de solución que se enfoca en 5 etapas:

- La primera etapa es realizar un grafo en el que se encuentren representadas las avenidas principales.
- La segunda etapa es realizar un grafo que contenga los valores históricos de tráfico para esas avenidas.
- La tercera etapa es consultar las bases de datos que se generan de forma dinámica con información actualizada del tráfico en diversos puntos de la ciudad y generar un grafo con estos valores.
- La cuarta etapa es relacionar los grafos anteriores para calcular el tiempo entre cada nodo.
- La quinta etapa es utilizar el algoritmo de Dijkstra para calcular el camino más cercano utilizando la herramienta de Pajek.
- La primera etapa comenzó con obtener las calles y avenidas de la ciudad de México que tienen la capacidad de transportar un mayor flujo vehicular, para esto se consultó la página de la SETRAVI en donde fue posible encontrar las avenidas principales de la ciudad así como su extensión en kilómetros.(Anexo 1)

Una vez definidas las avenidas principales y establecida la forma en que estas se representarían en un grafo se procedió a la digitalización de estos valores con lo que se generó un grafo como el que se despliega a continuación que contiene como pesos de los arcos las distancias:



En el grafo se encuentran algunas de las avenidas principales que según la SETRAVI tienen una mayor circulación

- Con el grafo definido se comenzó el desarrollo de la segunda etapa que se centro en realizar una investigación sobre los valores históricos de tráfico según su comportamiento en diferentes horas del día. Esta información también se consultó de la SETRAVI y en el Anexo 2 se pueden encontrar las tablas con el tráfico.

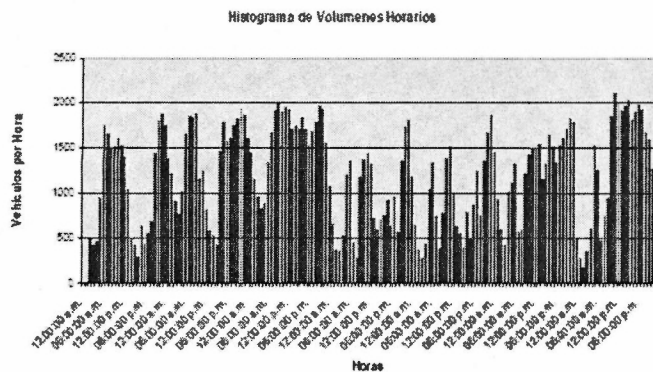
3.2. Estación Maestra 03: Calzada de Tlalpan

Entre Rio Churubusco Y Oriente 180 (N-S).

V.P.D. = 28,639

Semana del 21/11/03 al 05/12/05

Dirección: Norte -Sur



En la tabla 3.2 se encuentran representados en un histograma los volúmenes de tráfico a diferentes horas del día de manera similar se encontró información sobre las demás avenidas principales.

- En la tercera etapa se realiza una consulta a la base de datos en donde se encuentran los valores actualizados de las cámaras, dichas

cámaras instaladas en los cruces o desembocaduras de las avenidas deben de entregar un valor en km/h que represente el estado de tráfico actual de la avenida.

El formato que debe tener el archivo que despliegue las velocidades obtenidas de las cámaras debe ser el siguiente:

Nodo 1 Nodo 2 Velocidad en Km/H

01 02 25

03 04 17

Es decir en el archivo se debe encontrar información de los dos nodos que están conectados por un arco separados por un espacio en blanco y una velocidad también separada por un espacio en blanco.

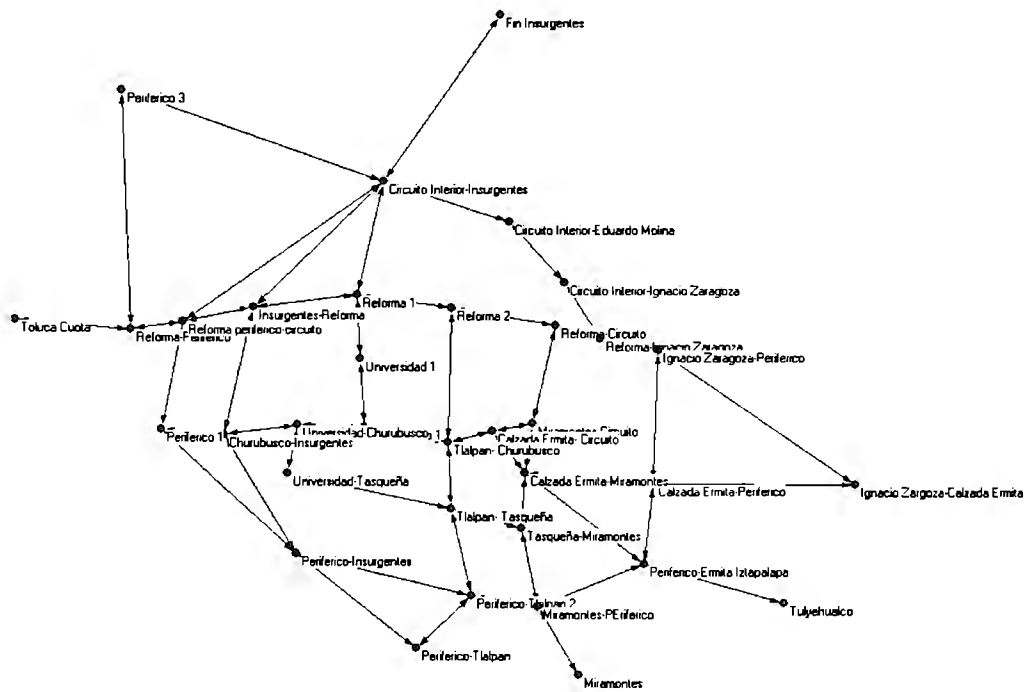
- En la cuarta etapa se complementa la información, en el caso de que no se puedan obtener los valores de una cámara se realiza una consulta de la información almacenada en el grafo de valores históricos y se complementa el grafo con estos valores de tal manera que todos los arcos tengan un peso definido en todo momento, una vez realizado esto se consulta la tabla de distancias y se establece una relación de $V=D/T$ (velocidad= V , Distancia= D , Tiempo= T) en la que despejando obtenemos el tiempo en que se debe de circular por cada arco, con estos valores se procede a generar el grafo en el formato de PAJEK **.net** con valores actualizados de tiempos por cada nodo.

Se utilizo el formato PAJEK el cual es un estándar mundial en la generación de grafos ya que es comúnmente utilizado en diversos programas de exploración de grafos. Este formato se eligió ya que posteriormente se utilizará la herramienta de PAJEK para cargar este archivo y poder ubicar los puntos en el espacio en donde se encuentra cada nodo de forma gráfica.

```
*****  
*vertices <# of vertices>  
1 "a"  
2 "b"  
3 "c"  
  
*arcslist  
1 2  
2 3  
  
*edges  
1 2 0.1  
1 3 0.9  
2 3 1.0
```

Los vértices o nodos se declaran en primer lugar seguido de un nombre que describa el vértice, a continuación en arclist se declara el orden en que estarán relacionados los arcos por último se declaran los pesos de cada arco que en este caso representaran será el tiempo de cada arco.

- En la quinta etapa se carga el archivo `grafo.net` creado previamente para ubicar los puntos en el espacio, una vez realizada la ubicación de los puntos se guarda el archivo del proyecto con el nombre de `grafo.paj` este archivo contiene la información tanto de los vértices, arcos, direcciones y ubicación en el espacio del grafo que estamos procesando.



El grafo que se generó tiene la siguiente estructura, más que identificar la ubicación de los nodos en el espacio es identificar la relación que tiene un nodo con el otro, es decir los arcos que están generados ya que estos serán los caminos que ofrezca la solución y los pesos será el tiempo que tarde en recorrer el programa.

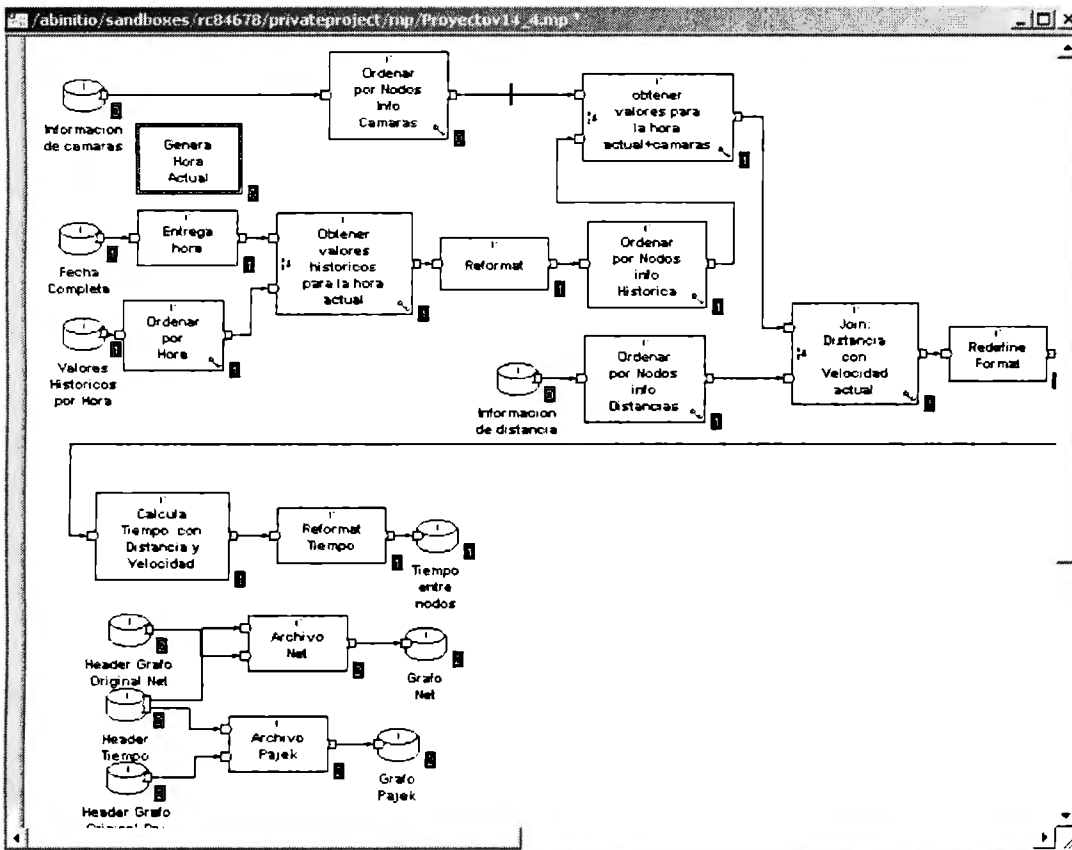
La quinta etapa puede servir de referencia en caso de querer realizar actualizaciones con un mayor número de nodos ya que el archivo `grafo.paj` alimenta al programa que realiza al grafo proveyendo así de nuevos nodos y la ubicación espacial de estos para su interpretación en el programa PAJEK.

Una vez realizado el archivo grafo.paj se carga en la aplicación y se utiliza como header del grafo ya que complementa la información de los nodos que tienen como peso los tiempos actuales con la información espacial de los nodos así como los sentidos de los nodos.

Al terminar la ejecución del programa que genera el grafo este se carga a la aplicación PAJEK para desde ahí poder seleccionar la opción de shortest path first la cual tiene implementada el algoritmo de Dijkstra para los caminos más cortos este pregunta el nodo origen y el nodo destino al que nos dirijamos.

Para la solución de estas etapas se realizó un programa en la herramienta ETL (que por sus siglas en inglés se puede traducir como extracción transformación y carga) Ab Initio, esta herramienta ofrece una arquitectura robusta ya que sus desarrollos pueden ser ejecutados en sistemas multiprocesador o correr en plataformas de tipo de malla es decir que se puede ejecutar en diversas computadoras siendo transparente para el usuario final y ofreciendo un mejor desempeño en caso de aumentar el número de nodos considerablemente.

El programa que se realizó fue el siguiente:



Las fases del programa están señaladas en azul y son las fases que debe de completar para generar el archivo Grafo.paj de forma correcta.

En la fase 0 se carga la información de las cámaras proveniente del archivo "camaras.dat" el cual debe tener la estructura previamente mencionada, posteriormente se ordena por nodos y genera la hora actual.

En la fase 1 se carga el archivo que contiene los valores históricos por hora se ordenan por hora y se realiza una consulta de los valores que aplican únicamente para la hora actual una vez realizado esto se ordenan por nodos para de esta manera poder realizar un Join con los valores de las cámaras estableciendo como regla que si la cámara se encuentra apagada tome los valores históricos consultados en esta fase.

Una vez que se cuenta con la información de tráfico de cada arco actual e histórica se consulta el grafo que contiene las distancias, se ordena por nodo y se agrega a este grafo, al finalizar se realiza la unión de estos dos valores en una sola tabla y posteriormente se establece la relación mencionada en la cuarta etapa para poder calcular el tiempo que toma por cada arco del grafo.

Al finalizar la fase 1 contamos con un archivo que muestra el tiempo entre cada nodo de la siguiente manera:

Nodo1 Nodo2 Tiempo

01 02 .10

02 03 .15

Este archivo cuenta con la misma estructura que el de las velocidades pero en esta ocasión esta representando los tiempos que toma llegar de un punto del nodo al siguiente, por razones de manipulación en pajek los archivos deben de llevar un punto "." Antes del tiempo en minutos, por lo que el archivo se formatea para que contenga este punto.

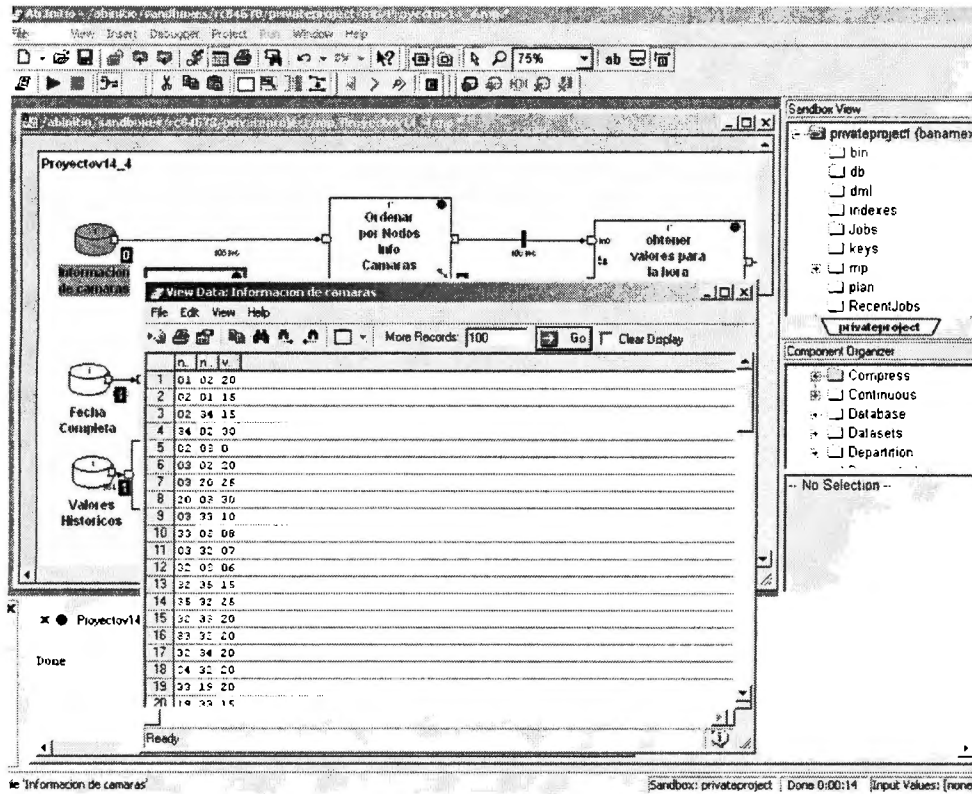
En la fase 2 se carga el archivo generado en la etapa 5 en la sección de Header original del grafo, y se carga el archivo generado en la fase 1 que contiene los tiempos por arco para finalmente hacer una fusión de estos dos archivos y tener un archivo que pueda ser correctamente interpretado por la aplicación pajek el archivo que finalmente obtenemos es el Grafo.paj el cual se carga en la aplicación para encontrar el camino más cercano.

La forma de cargar el archivo en la aplicación y ejecutar el programa se indica a continuación:

1. File> Load > Grafo.paj // Para cargar el archivo previamente generado
2. Draw > Keep values on vértices // Para desplegar el grafo previamente cargado.
3. Net> Paths between 2 vertices> One shortest
4. Seleccionar punto de origen y punto destino
5. Draw // para desplegar de forma gráfica la trayectoria a seguir.

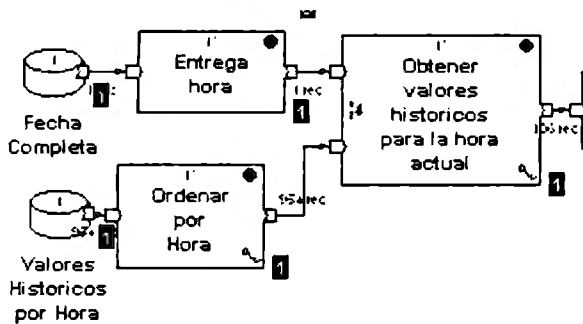
IV. Resultados y Pruebas:

El programa en AB Inicio se ejecuto correctamente siguiendo el orden establecido por las fases en la sección anterior:



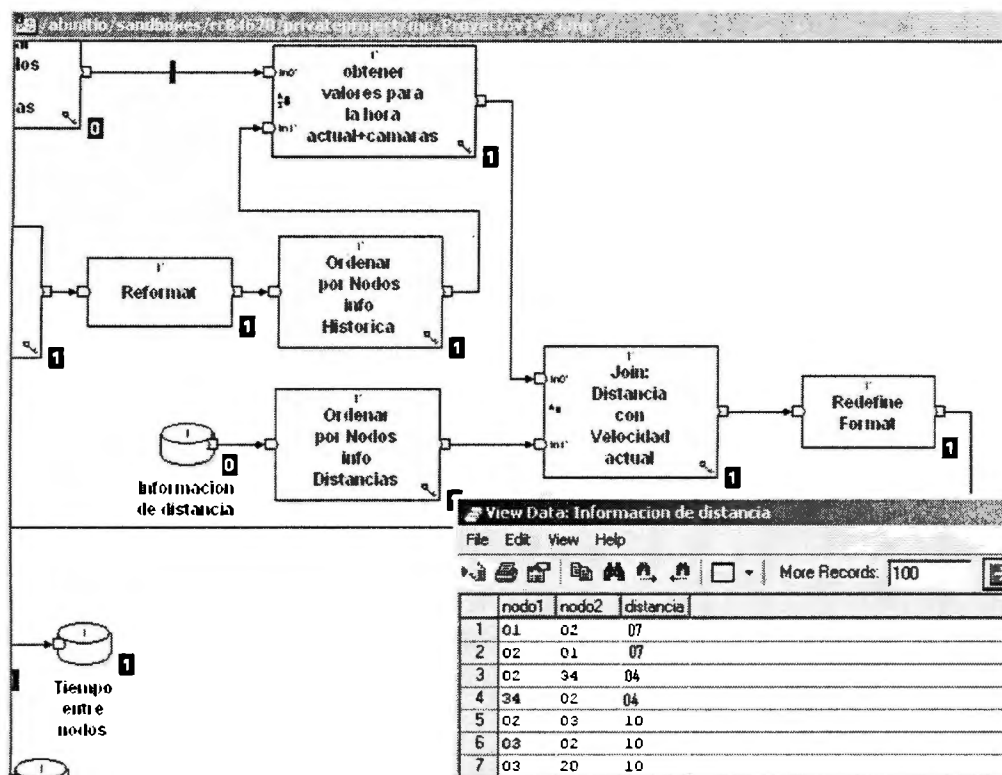
En la fase 0 se comprobó que se cargara la información de los nodos establecida por las cámaras y que el número de registros que se obtienen es el número de registros de arcos que tiene el grafo.

En la fase 1 se comprobó que se cargaran los valores históricos almacenados en la base de datos para la hora del día en que se está ejecutando el programa esto se ve reflejado en la siguiente sección:

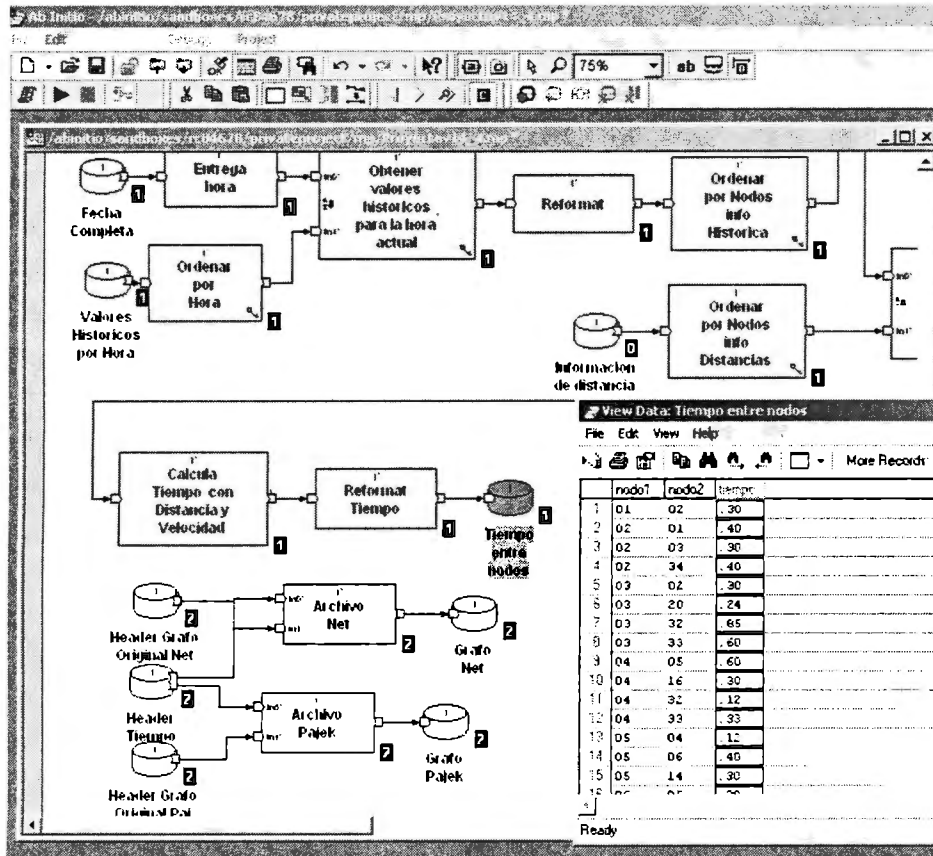


El programa lee los valores históricos los ordena por hora y filtra los valores para la hora actual, la imagen fue tomada al finalizar la ejecución del programa del lado izquierdo se puede notar que el número de registros es de 954 y que posteriormente al aplicar el filtro para la hora actual del lado derecho se tienen únicamente 106 registros.

Durante la primera etapa también se cargan los valores de las distancias y se comprueba que esto se haya realizado correctamente revisando que el número de registros sea de 106.

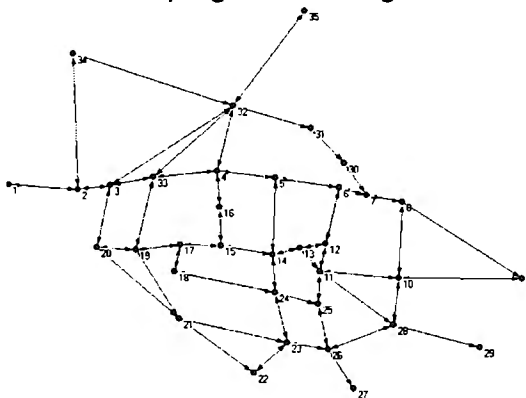


Para finalizar la fase 1 se realiza el cálculo de tiempo entre nodos y se verifica que el formato descrito en la solución al finalizar la fase 1 se cumpla, si seleccionamos la opción de ver la información ubicándonos sobre el icono de tiempo entre nodos se puede verificar que el programa ya realizó los cálculos necesarios para obtener el tiempo por cada arco así mismo si se analiza la tabla de valores se puede comprobar que no existe ningún 0 de tiempo por lo que se valida que las cámaras que están apagadas no se toman en cuenta y que en su lugar se está tomando en cuenta la velocidad histórica.



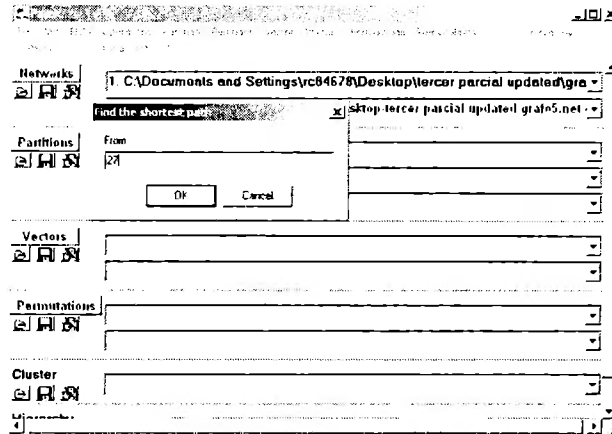
La forma de verificar que la aplicación se realizó sin problemas es verificar que en la parte final diga Done y que todos los círculos ubicados en la esquina superior derecha de cada componente se encuentren de color azul.

Por último se verifica que el grafo haya sido generado correctamente desde PAJEK con el procedimiento indicado previamente para cargar archivos, en caso de que se haya generado correctamente el grafo debería desplegar una imagen como esta:

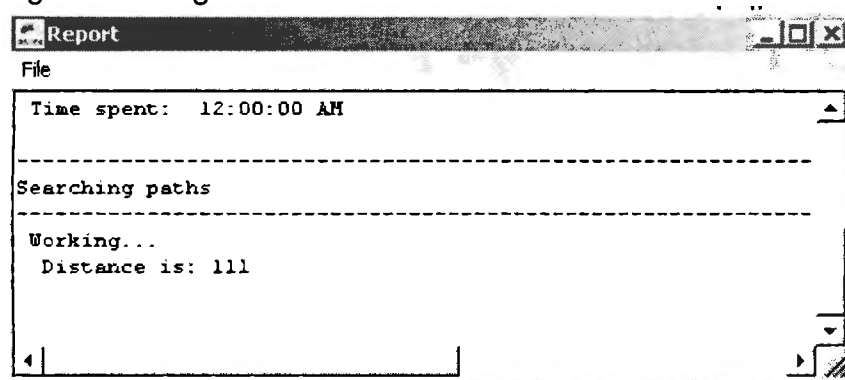


Al comprobar que Pajek generó el grafo que debería generar se realizaron pruebas para encontrar el camino más corto entre dos nodos.

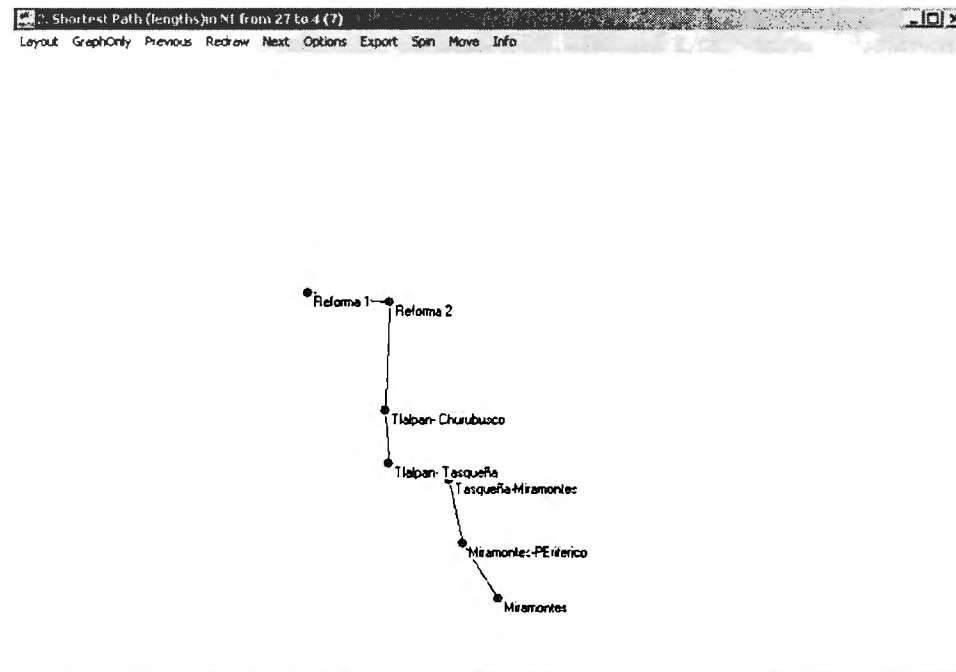
En esta sección se indicó el nodo de inicio y el nodo destino.



Una vez indicados los nodos de inicio y el nodo destino el programa regresa el valor en tiempo del camino más corto como se muestra en la siguiente imagen:



En este caso la distancia que entrega es de 111 minutos al destino. Por último se despliega la información de forma visual para indicar cual es la ruta que se debe tomar para llegar del punto de origen al punto destino,



Se realizaron pruebas similares para diferentes horas del día y para diferentes rutas dando siempre el camino mínimo en tiempo del punto de origen al punto destino.

Se anexan de forma digital en cd 3 videos del programa en ejecución y de los resultados obtenidos en las pruebas las cuales reiteran el correcto funcionamiento del sistema.

V. Conclusiones y Trabajo Futuro

Se logró implementar un modelo capaz de calcular la ruta más rápida en cuanto a tiempo de un nodo a otro, el programa en el que se desarrolló permite la posibilidad de escalar el proyecto sin necesidad de modificar el modelo y ofreciendo la capacidad de utilizar un mayor número de procesadores se puede llevar el proyecto a gran escala importando un mayor número de calles y avenidas.

Se logró investigar sobre el comportamiento histórico de algunas de las avenidas principales, si se intentan agregar más nodos se necesita realizar la investigación de estos valores históricos y generar una base de datos en donde se encuentre almacenada dicha información.

Es posible ejecutar el programa desde una unidad médica móvil conectándose a un escritorio remoto para ejecutar la aplicación se podría realizar una aplicación web que permita la ejecución de este programa desde un servidor en un trabajo futuro.

El software puede correr en Linux por lo que reduce los costos de implementación y tiende a ser más estable.

En conclusión el prototipo funciona pero existen diversos factores que podrían beneficiar su desempeño en el momento de su implementación como es el caso de instalar las cámaras en los nodos requeridos, crear una base de datos histórica más robusta que contemple diferentes volúmenes de tráfico de acuerdo a la información de las cámaras y por último realizar una investigación más a fondo sobre las distancias entre los nodos de las avenidas que se implementarían en el futuro.

VI. Actividades:

Actividad	Tiempo
Definir requerimientos del Proyecto	3 Semanas
Recolectar Información Sobre Avenidas, tráfico y programas actuales	3 Semanas
Analizar diversas estrategias de solución de grafos	2 Semanas
Definir una estrategia de solución:	1 Semana
Implementar propuesta de solución seleccionada:	
* Primera etapa de la propuesta	5 días
* Segunda etapa de la propuesta	5 días
* Tercera etapa de la propuesta	5 días
*Cuarta etapa de la propuesta	5 días
*Quinta etapa de la propuesta	5 días
Resultados y pruebas	
Realizar pruebas	5 días
Actualizar bases de datos	3 días
Recopilar resultados	3 días
Póster, Trabajos Impresos, Presentaciones.	14 días
Tiempo trabajado:	15 Semanas

VII. Bibliografía:

- Trafico de la Ciudad de México: Reportes viales de la SSP , Secretaría de Seguridad Pública, (2006). Reportes viales de la SSP . Consultada en Mayo 22, 2008, de from <http://portal.ssp.df.gob.mx/portal>
- Manual para generar programas en Ab Initio: Ab Initio, (2005). *Co>Operating System Graph Developers Guide* . Lexington Ma, United States: Ab Initio.
- Información de Teoría de Grafos consultada de diversos autores de la página: http://en.wikipedia.org/wiki/Graph_theory el día 19-Feb-2008
- Avenidas principales de la ciudad de México consultadas de: *Guia Roji*: www.guiaroji.com.mx/ el día 12-Marzo-2008
- Información de uso, estándares, documentos y requerimientos para desarrollar grafos en Pajek consultados de : *Pajek Tutorial*: <http://vw.indiana.edu/tutorials/pajek/>
- Referencia sobre modelado de calles en un grafo:

Intersección de n calles con k restricciones, Álvaro Alvarez Padilla,
 Universidad Autónoma de Baja California.
<http://alvaro.uabc.googlepages.com/Art1.doc.pdf> consultada el 19-Marzo-2008

- Histogramas de comportamiento de diversas avenidas en la ciudad de México: Anuario del transporte y la vialidad, Gobierno del Distrito Federal Secretaria de transporte y vialidad, 2004

VIII. Anexos:

INVENTARIO DE LA RED VIAL DEL DISTRITO FEDERAL

Vialidades de acceso controlado

VIALIDAD	TRAMO CONSTRUIDO	KM.
Anillo Periférico	Av. De los Rosales-Santa Cruz	5.17
Anillo Periférico	Lago de Texcoco- Av Valle Alto	3.84
Anillo Periférico	F.F.C.C. Del Sur-Calz. Ing. Militares	49.81
Total		58.82
Circuito Interior		42.981
Calzalizada De Tlalpen	J. Maria Izazaga - Av. Insurgentes Sur	17.701
Viaducto Miguel Aleman	Anillo Periférico - Calz. Ignacio Zaragoza	12.25
Viaducto Río Becerra	Av. San Antonio - Viaducto M. Aleman	1.879
Calzada Ignacio Zaragoza	Eje 3 Ote.-Autopista México Puebla	14.12
Aguiles Serdan	Av. De Las Culturas-Calz. México Tacuba	9.806
Río San Joaquin	Calz. Ingenieros Militares-C.I. Melchor Ocampo	5.46
Gran Canal	Río de Los Remedios-Eje 1 Norte	8.41
Total Kms. De Vialidades de Acceso Controlado		171.427

VIALIDAD	KM.
Av. Insurgentes	34.52
Paseo de la Reforma	14.54
Calz. De Tlalpan	4.55
Camino A Santa Fe	10.49
Av. Universidad	7.51
Bosques de La Reforma	2.77
Chalma La Villa	1.81
V. Carranza	6.08
FFCC Monte Alto	0.69
Madero	1.66
5 de Febrero	0.16
1o de Septiembre	0.07
20 de Noviembre	0.65
Jose Maria Pino Suarez	1.01
Galindo y Villa	2.38
Av. Ceylan	3.1
Ricardo Flores Magon	4.46
Av. De Las Granjas	4.72
Heliopolis	1.41
Calz. Legaria	5.05

Estación	Volumen Vehicular Promedio Diario	% Vehiculos Particulares	% Transporte Público	% Transporte Carga
01 Czada. E. Iztapalapa	28,151	94.5	0.1	5.4
03 Czada. de Tlalpan (Dir. Sur)	28,639	90.3	0.03	9.65
05 Autopista México-Puebla	37,225	96.8	0.1	3.1
06 Czada. de Tlalpan (Dir. Norte)	34,530	96.2	0.3	3.5
11 Eje 2 Norte (Poniente)	33,114	92.6	0.03	7.4
12 Eje 1 Norte (Oriente)	33,748	94.6	0.1	5.3

**Estación Maestra 01: Calzada Ermita Iztapalapa.
DATOS DE LAS HORAS DE MÁXIMA DEMANDA**

		Vie	Sab	Dom	Lun	Mar	Mie	Jue
Periodo matutino (0:00 a 11:00)	VHMD	1533	1550	1641	1568	1544	1580	1578
	Hora Máxima	09:00:00	07:00	10:00	10:00	09:00	10:00	09:00
	FHMD	1.35180218	1.23080995	1.38286517	1.53998006	1.33342929	1.4021076	1.34226475
	Factor K (%)	5.63250909	5.1283748	5.7619382	5.58325025	5.55595538	5.64211499	5.5927698
	Direccional (%)	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
Periodo medio día (11:01 a 17:00)	VHMD	1613	1645	1670	1616	1622	1561	1621
	Hora Máxima	13:00	16:00	12:00	11:00	16:00	16:00	12:00
	FHMD	1.42234633	1.30624669	1.40730337	1.38099986	1.40079165	1.38524681	1.37884104
	Factor K (%)	5.92644303	5.44269455	5.86376404	5.75416607	5.83663188	5.77186171	5.74517101
	Direccional (%)	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
Periodo Vespertino (17:01 a 24:00)	VHMD	1453	1615	1649	1569	1563	1341	1505
	Hora Máxima	17:00	17:00	17:00	17:00	17:00	20:00	17:00
	FHMD	1.28125804	1.28242456	1.38960674	1.34083464	1.34963807	1.19001664	1.28017012
	Factor K (%)	5.33857516	5.34343568	5.79002809	5.586811	5.6243253	4.95840266	5.33404218
	Direccional (%)	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

3.3. Estación Maestra 05: Autopista México-Puebla

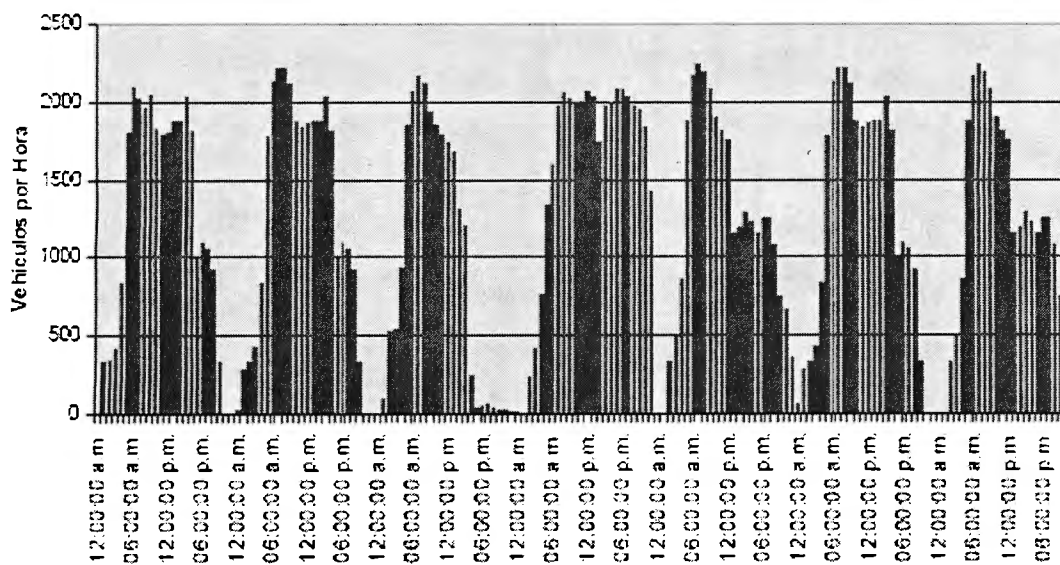
Entre: Autopista México Puebla y Eje 10 Sur.

V.P.D. = 37,225

Semana del 08/02/04 al 14/02/05

Dirección: DF a Puebla (Poniente a Oriente)

Histograma de Volúmenes Horarios



**Estación Maestra 05: Autopista México Puebla.
DATOS DE LAS HORAS DE MÁXIMA DEMANDA**

		Mar	Mie	Jue	Vie	Sab	Dom	Lun
Periodo matutino (0:00 a 11:00)	VHMD	1927	1962	1952	2309	2167	1928	1995
	Hora Máxima	09:00:00	10:30	10:00	10:00	10:00	08:00	09:00
	FHMD	1.14859059	1.44716946	1.23031672	1.30151722	1.81269388	1.26205542	1.14326586
	Factor K (%)	4.78579411	6.02987276	5.12631966	5.4229884	7.55289115	5.25856426	4.76360775
	Direccional (%)	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

Periodo medio día (11:01 a 17:00)	VHMD	1965	2210	2130	2297	2565	1998	2303
	Hora Máxima	16:00	13:00	16:00	11:00	12:00	16:00	16:00
	FHMD	1.17124053	1.63009404	1.34250748	1.29475316	2.14562058	1.30757694	1.21775843
	Factor K (%)	4.88016888	6.79205852	5.59378119	5.39460483	8.94008574	5.44948724	5.49078511
	Direccional (%)	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

Periodo vespertino (17:01 a 24:00)	VHMD	3059	1784	2158	2239	1234	2211	2896
	Hora Máxima	19:00	20:00	18:00	18:00	15:00	23:00	20:00
	FHMD	1.8233205	1.31587682	1.36015547	1.26206022	1.03224008	1.44730526	1.65710607
	Factor K (%)	7.59716876	5.48282009	5.66731446	5.25856425	4.30100031	6.03043858	6.90460864
	Direccional (%)	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

3.4. Estación Maestra 06: Calzada de Tlalpan

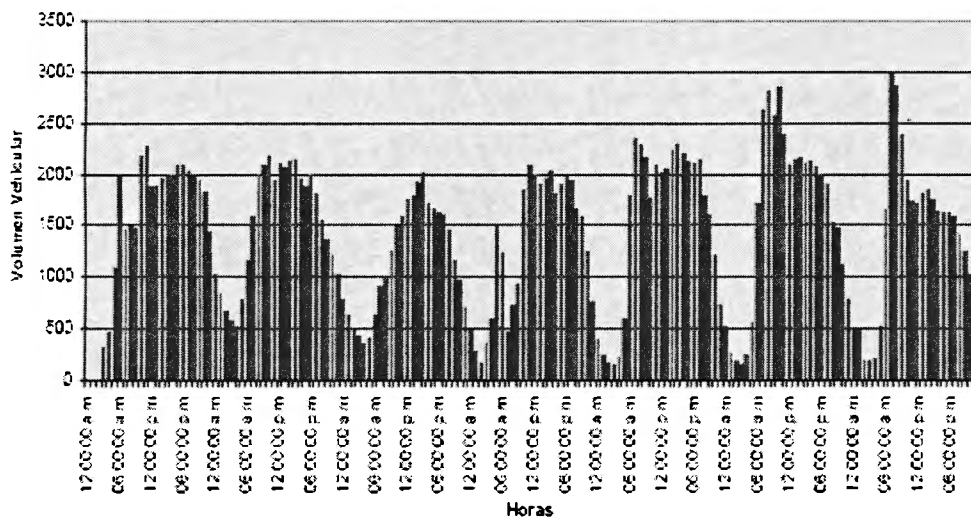
Entre Río Churubusco y Oriente 180 (S-N).

V.P.D. = 34,530

Semana del 21/11/03 al 27/11/03

Dirección: Sur-Norte

Histograma de Volúmenes Horarios



Estación Maestra 06: Calzada de Tlalpan de Tlalpan .

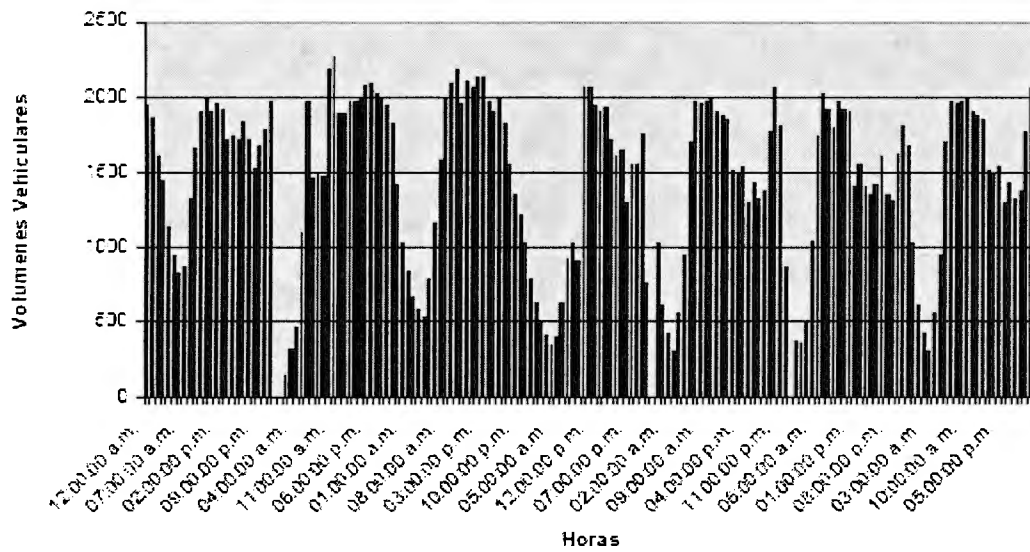
DATOS DE LAS HORAS DE MÁXIMA DEMANDA

		Vie	Sab	Dom	Lun	Mar	Mie	Jue
Periodo matutino (0:00 a 11:00)	VHMD	2197	2179	1491	1651	2354	2858	2990
	Hora Máxima	10:00:00	10:00	10:00	10:00	07:00	10:00	07:00
	FHMD	1.4841004	1.4247262	1.2376872	1.4055559	1.9329263	1.7906725	2.12615922
	Factor K _i (%)	6.1004164	5.9363592	5.2404049	6.6664929	6.3971931	7.4203019	8.95899577
Direccional (%)		100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

Periodo medio día (11:00 a 17:00)	VHMD	2297	2142	2008	2103	2299	2395	1949
	Hora Máxima	11:00	15:00	15:00	11:00	15:00	11:00	14:00
	FHMD	1.5176569	1.400534	1.6936001	1.589912	1.4971103	1.4976017	1.31480549
	Factor K _i (%)	6.2235704	5.9355592	7.0575004	6.6537999	6.2379596	6.1991739	5.4783562
Direccional (%)		100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

Periodo Vespertino (17:00 a 24:00)	VHMD	2090	1990	1675	1974	2158	2081	1825
	Hora Máxima	19:00	18:00	17:00	19:00	19:00	17:00	16:00
	FHMD	1.3991632	1.3011497	1.4129059	1.4999559	1.435291	1.2951464	1.15552132
	Factor K _i (%)	5.9293466	5.421457	5.8871091	6.2456496	5.9553792	5.3547767	4.91467216
Direccional (%)		100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

Histograma de Volúmenes Horarios



Estación Maestra 12: Eje 1 Norte DATOS DE LAS HORAS DE MÁXIMA DEMANDA

		Vie	Sab	Dom	Lun	Mar	Mie	Jue
Periodo matutino (0:00 a 11:00)	VHMD	1999	1930	2041	2124	1834	1917	1834
	Hora Máxima	08:00:00	06:00	07:00	08:00	10:00	08:00	10:00
	FHMD	1.24001	1.790145	1.367351	1.3976366	1.3951189	1.268451	1.3951189
	Factor K (%)	5.16671	7.458937	5.697298	5.8234859	5.8129952	5.285214	5.8129952
Direccional (%)		100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

		Vie	Sab	Dom	Lun	Mar	Mie	Jue
Periodo medio día (11:01 a 17:00)	VHMD	1951	1638	1560	1884	1784	1723	1764
	Hora Máxima	11:00	11:00	16:00	11:00	16:00	15:00	15:00
	FHMD	1.213235	1.519304	1.045109	1.2297116	1.357084	1.140084	1.357084
	Factor K (%)	5.042647	6.330435	4.354623	5.1654649	5.6545166	4.750352	5.6545166
Direccional (%)		100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

		Vie	Sab	Dom	Lun	Mar	Mie	Jue
Periodo Vespertino (17:01 a 24:00)	VHMD	1963	2070	2124	1757	1785	2942	1765
	Hora Máxima	21:00	23:00	22:00	17:00	17:00	18:00	17:00
	FHMD	1.217679	1.92	1.422957	1.1561429	1.3576447	1.946679	1.3576447
	Factor K (%)	5.073662	8	5.928986	4.8772621	5.6576862	8.111163	5.6576862
Direccional (%)		100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

3.7. Estación Maestra 13: Eje Central Lázaro Cárdenas

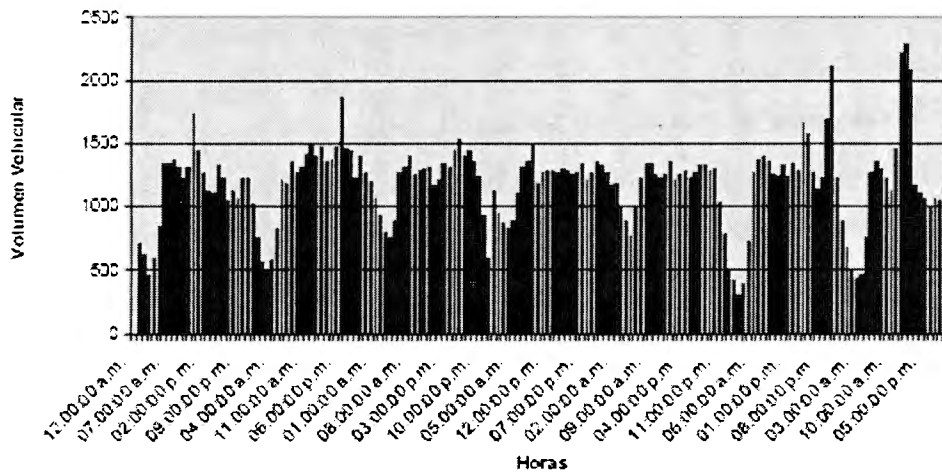
Entre Belisario Domínguez y República del Perú

V.P.D. = 27,920

Semana del 10/12/03 al 17/12/03

Sentido: Norte

Histograma de Volúmenes Horarios



Estación Maestra 13: Eje Central Lázaro Cárdenas. DATOS DE LAS HORAS DE MÁXIMA DEMANDA

		Mie	Jue	Vie	Sab	Dom	Lun	Mar
Periodo matutino (0:00 a 11:00)	VHMD	1358	1352	1394	1494	1341	1395	1360
	Hora Máxima	06:00:00	08:00	08:00	09:00	08:00	08:00	07:00
	FHMD	1.26452532	1.11375026	1.1530985	1.29131703	1.12088601	1.19409573	1.2176833
	Factor K (%)	5.26302218	4.64062607	4.8045771	5.38048763	4.67035637	4.97539054	5.0736803
	Direccional (%)	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

Periodo medio día (11:01 a 17:00)	VHMD	1732	1490	1335	1297	1355	1661	2280
	Hora Máxima	18:00	12:00	12:00	15:00	13:00	16:00	13:00
	FHMD	1.60073937	1.22743187	1.10429448	1.12104296	1.13258803	1.42178472	2.0414102
	Factor K (%)	6.66974738	5.11429644	4.60122699	4.67101235	4.71911678	5.924103	8.5058758
	Direccional (%)	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

Periodo Vespertino (17:01 a 24:00)	VHMD	1322	1855	1521	1360	1329	2113	1215
	Hora Máxima	17:00	18:00	17:00	22:00	19:00	22:00	22:00
	FHMD	1.22181146	1.53058282	1.25815124	1.17549609	1.11025571	1.80868821	1.0878567
	Factor K (%)	5.09088108	6.37742843	5.24229682	4.89790039	4.62855546	7.53620087	4.5327364
	Direccional (%)	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

3.8. Estación Maestra 18: Periférico

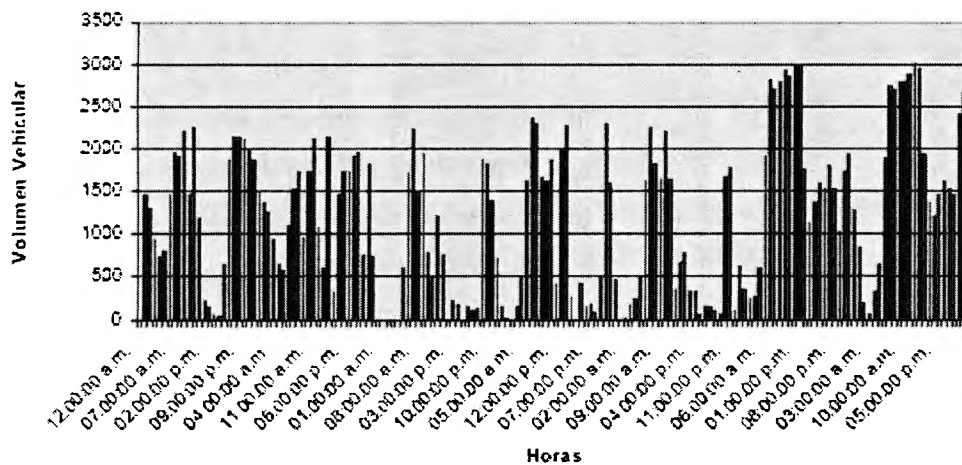
Entre: Ingenieros Zapadores y Av. Conscripto

V.P.D. = 29,261

Semana del 01/11/03 al 07/11/03

Dirección: Norte

Histograma de Volúmenes Horarios



Estación Maestra 18: Periférico. DATOS DE LAS HORAS DE MÁXIMA DEMANDA

		Sab	Dom	Lun	Mar	Mie	Jue	Vie
Periodo matutino (06:00 a 11:00)	VHMD	2200	1740	2228	2361	2244	2929	2805
	Hora Máxima	09:00:00	08:00	07:00	07:00	07:00	10:00	09:00
	FHMD	1.70658392	1.31407533	3.12646934	2.44452114	2.82872	1.77353921	1.56017521
	Factor K (%)	7.11076635	5.47531389	13.0269543	10.1855047	11.7863333	7.38974669	6.50073003
	Dirreccional (%)	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

		Sab	Dom	Lun	Mar	Mie	Jue	Vie
Periodo medio día (11:01 a 17:00)	VHMD	2243	2131	1229	2285	1660	2993	3016
	Hora Máxima	11:00	14:00	12:00	14:00	11:00	12:00	12:00
	FHMD	1.73993988	1.60936467	1.72460972	2.36583261	2.09254688	1.81229186	1.67753598
	Factor K (%)	7.24974951	6.70566614	7.18587382	9.85763589	8.71894532	7.55121607	6.98973325
	Dirreccional (%)	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

		Sab	Dom	Lun	Mar	Mie	Jue	Vie
Periodo Vespertino (17:01 a 24:00)	VHMD	2143	1952	1866	2302	1780	1944	2656
	Hora Máxima	20:00	20:00	21:00	22:00	23:00	23:00	22:00
	FHMD	1.56236789	1.47415106	2.61848798	2.38343399	2.24381533	1.17711172	1.47729959
	Factor K (%)	6.92653285	6.1424211	10.9103666	9.93097498	9.34923053	4.90463215	6.15541496
	Dirreccional (%)	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

3.10. Estación Maestra 25: Insurgentes Sur

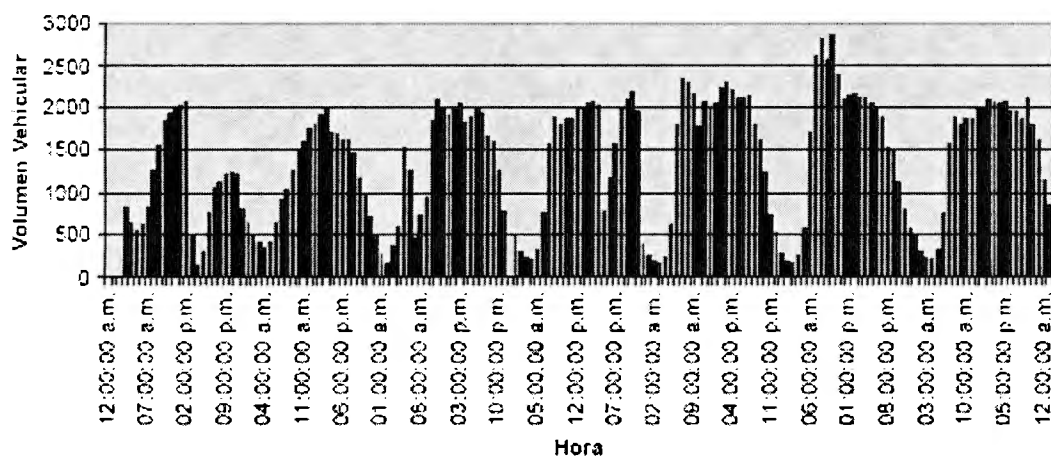
Ciudad Universitaria .

V.P.D. = 33,289

Fecha Inicial: 13/12/03

Dirección: Sur-Norte

Histograma de Volúmenes Horarios





Modelo de las rutas principales de la red vial dirigida a los servicios médicos de urgencias

René Enrique Córdova Aguilar
Asesor: Dr. José Martín Molina Espinosa
Profesor de Proyectos: Dr. Guillermo Alfonso Parra Rodríguez

INTRODUCCIÓN:

El modelo de las rutas principales de la red vial dirigido a los servicios médicos de urgencias permite obtener la ruta más rápida de un hospital al lugar de una emergencia y de el lugar de la emergencia a un hospital utilizando tanto valores históricos como valores actuales.

OBJETIVO:

Diseñar un modelo que represente las vías principales de la ciudad de México para ser aplicado en atención médica pre-hospitalaria. Obtener la ruta más rápida desde el lugar en donde se encuentre la ambulancia al lugar donde se encuentre el paciente y luego de allí al hospital en el menor tiempo posible.

JUSTIFICACIÓN:

Es necesario conocer la ruta más rápida que una unidad médica móvil debe tomar en situaciones críticas al transportar pacientes desde y hacia un hospital. El sistema puede ser ejecutado desde una unidad médica móvil de esta manera se puede acceder a la información en menos tiempo.

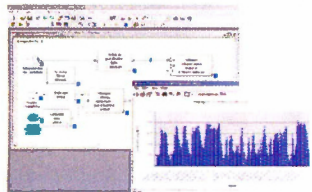
SOLUCIÓN PROPUESTA:

Generar tres grafos con información característica de la red vial de la Ciudad de México. Utilizar algoritmos matemáticos para la obtención del camino más rápido. Calcular un grafo con los tiempos actuales.

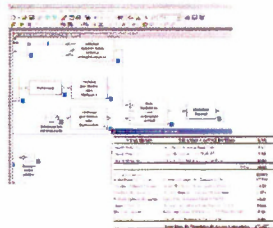


Se definieron las vías principales del modelo. Los nodos representan las intersecciones y las avenidas los arcos.

El primer grafo utiliza valores históricos del tráfico en avenidas.



Generar un grafo utilizando valores actuales obtenidos por cámaras.

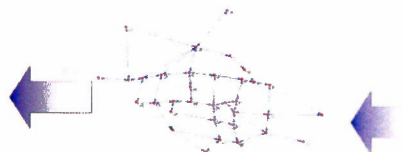


Generar un grafo con las distancias de las avenidas.



Utilizar el algoritmo de Dijkstra para obtener el camino más corto entre dos puntos.

Guardar el grafo con las velocidades actualizadas.



Con la distancia y velocidad calcular el tiempo por arco.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES:

Se logró calcular la ruta más rápida entre dos nodos utilizando tanto valores históricos como actuales. Se logró desplegar la ruta de forma gráfica. Se logró diseñar un modelo que pueda ser actualizado con más nodos sin que esto afecte el desempeño. Se desarrollo en un sistema que ofrece la capacidad de utilizar multi-procesadores por lo que puede ser escalable.

**Estación Maestra 25: Isurgentes Sur a la Altura de Ciudad
Universitaria. DATOS DE LAS HORAS DE MÁXIMA DEMANDA.**

		Sab	Dom	Lun	Mar	Mie	Jue	Vie
Periodo matutino (0:00 a 11:00)	VHMD	1645	1491	1851	1684	2354	2856	1884
	Hora Máxima	10:00:00	10:00	10:00	08:00	07:00	10:30	08:00
	FHMD	1.61476187	1.25769717	1.40555591	1.2995344	1.53292633	1.78087246	1.27721595
	Factor K (%)	6.72817446	5.24040489	5.85648295	5.41472668	6.35719305	7.4203019	5.32173324
	Direccional (%)	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

		2074	2008	2103	2066	2299	2355	2098
Periodo medio día (11:00 a 17:00)	VHMD	2074	2008	2103	2066	2299	2355	2098
	Hora Máxima	14:00	15:00	11:00	15:00	15:00	11:00	14:00
	FHMD	1.81518489	1.59380008	1.59691198	1.43686877	1.4971103	1.48780171	1.42229253
	Factor K (%)	7.56327037	7.05750035	6.65379991	5.99528654	6.23795957	6.19917379	5.92621586
	Direccional (%)	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

		2074	1675	1974	2108	2158	2061	2108
Periodo Vespertino (17:00 a 24:00)	VHMD	2074	1675	1974	2108	2158	2061	2108
	Hora Máxima	20:00	17:00	18:00	20:00	19:00	17:00	21:00
	FHMD	1.81518489	1.41290595	1.49895589	1.4540438	1.40529101	1.28514641	1.4290718
	Factor K (%)	7.56327037	5.86710311	6.24564956	6.05851584	5.85537919	5.35477669	5.95446585
	Direccional (%)	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

IX. Póster