

UN SISTEMA AVANZADO DE GESTION DE TRANSITO PARA LA OLIMPIADA CENTENARIA

Ing. Peter S. Parsonson

Georgia Institute of Technology ("Georgia Tech")
School of Civil and Environmental Engineering
Atlanta, Georgia 30332-0355, EE UU
Teléfono: (404)894-2244 Fax: (404)894-1742
Correo Electrónico: peter.parsonson@ce.gatech.edu

RESUMEN

En el verano de 1996 la ciudad estadounidense de Atlanta, estado de Georgia, experimentará 16 días consecutivos sumamente extraordinarios: la Olimpiada Centenaria. Este trabajo trata de los preparativos atlanteños en cuanto a un Sistema Avanzado de Gestión de Tránsito (SAGT) para enfrentar este desafío. El SAGT proporcionará la columna vertebral de las comunicaciones, además del programa y componentes de computadora para un sistema avanzado de control y supervisión de autopistas y arterias que incluye supervisión por medio de cámaras fijas y aéreas, señales de mensaje cambiable, sistemas de semáforos computarizados y coordinados, un Centro de Administración de Tránsito operado por el estado y unos Centros de Control de Tránsito operados por los gobiernos locales. Tras una breve descripción del proyecto, el trabajo enfoca los aspectos tecnológicos y metodológicos del proyecto. En particular, se explica lo que se ha realizado hasta la fecha para estimar los beneficios del proyecto, principalmente en cuanto a la calidad del aire. Este aspecto es importante porque Atlanta tiene un alto porcentaje de peligroso ozono a baja altura. El gobierno federal ha clasificado el área como una zona "grave" sin logro con respecto al ozono.

Casi 1600 intersecciones semaforizadas serán actualizadas en 1996 para ser controladas por medio de computadoras. En 1994 la Comisión Regional de Atlanta desarrolló un "análisis fuera del modelo" para determinar los cambios en emisiones de vehículos debido a la implementación del proyecto para los años 1996, 1999, 2005 y 2010. El procedimiento y las suposiciones hechas en el análisis se describen en este trabajo. Se encontró que las emisiones de HC se reducirán con el tiempo debido a que los vehículos viejos y contaminantes serán gradualmente reemplazados por nuevos vehículos. Las emisiones de NOx aumentarán un poco debido a las velocidades más altas.

El SAGT reducirá el tiempo para detectar y responder a incidentes tales como vehículos accidentados y varados en la vía. La Comisión Regional de Atlanta estimó los impactos del proyecto en la calidad del aire para cuatro futuros años. Esta metodología es descrita en este trabajo. Se encontró que el HC y el NOx disminuirán debido a la reducción en demoras, y que los beneficios se incrementarán con el tiempo ya que se espera que la congestión en las autopistas sea peor.



1. INTRODUCCION

La ciudad estadounidense de Atlanta, estado de Georgia, cuenta con 2,7 millones de habitantes en su área metropolitana. Atlanta fue seleccionada como la ciudad anfitriona de los próximos Juegos Olímpicos de verano de 1996. En 1991, el Congreso destinó 58 millones de dólares a proyectos de mejoras del tránsito relacionados con la Olimpiada de Atlanta. Otros fondos federales, y contribuciones locales y estatales, han aumentado éste valor a 132 millones de dólares. A comienzos de 1993, los funcionarios estatales, o sea el Departamento de Transporte del Estado de Georgia (el GDOT), en cooperación con las agencias federales y locales, le asignó un contrato de 13 millones de dólares a un grupo de consultores dirigido por la empresa TRW para manejar la ingeniería de un Sistema Avanzado de Gestión de Tránsito Para la Región Atlanteña, o sea un SAGT. El trabajo previo a las Olimpiadas es considerado sólo como un esfuerzo inicial, o sea el establecimiento de la base de un sistema que servirá las necesidades de Atlanta y el estado de Georgia hasta el próximo siglo. La Figura 1, tomada de un trabajo de Parsonson (1994), muestra los componentes del SAGT. No todos los componentes estarán listos para las Olimpiadas.

Este trabajo enfoca los aspectos tecnológicos y metodológicos del proyecto, principalmente los procedimientos que se han realizado para las estimaciones de los beneficios esperados en cuanto a la calidad del aire.

2. RESUMEN DE RASGOS TECNOLOGICOS Y BENEFICIOS ESPERADOS

La base del SAGT utilizará cable de fibra óptica, cámaras de circuito cerrado, detectores de lazos inductivos dentro del pavimento, y computadoras para controlar y responder a las diferentes situaciones del tránsito a través de toda el área metropolitana. La Figura 2 muestra como los mensajes de voz, los datos, las órdenes de control y el video fluirán alrededor de la red. Esta información se transmitirá a los viajeros por medio de las señales de mensaje cambiable, radio informativa en las autopistas, y despliegues en vehículos y quioscos para aquéllos que anden a pie.

Entre los beneficios esperados se encuentran los siguientes:

- Reducción de la congestión
- Mejoramiento de la calidad del aire
- Viajeros mejor informados
- Una reacción más rápida a incidentes tales como choques, atascamientos y derramamientos, los cuales ocurren a un promedio de hasta 11 por hora. Por cada minuto ahorrado al responder a un accidente, se pueden ahorrar de 4 a 10 minutos de congestión.
- Capacidad para darles prioridad o trato preferencial a ciertos vehículos como autobuses, carros de funcionarios olímpicos, y los de aquéllos que acuden a solucionar las emergencias del tránsito.

Otras funciones que prestará el SAGT son las siguientes:

- Semáforos en las rampas de acceso a las autopistas, para dirigir y controlar la entrada individual de vehículos, y promover una duración consistente en viajes, eliminando la congestión debida a la demanda excesiva.



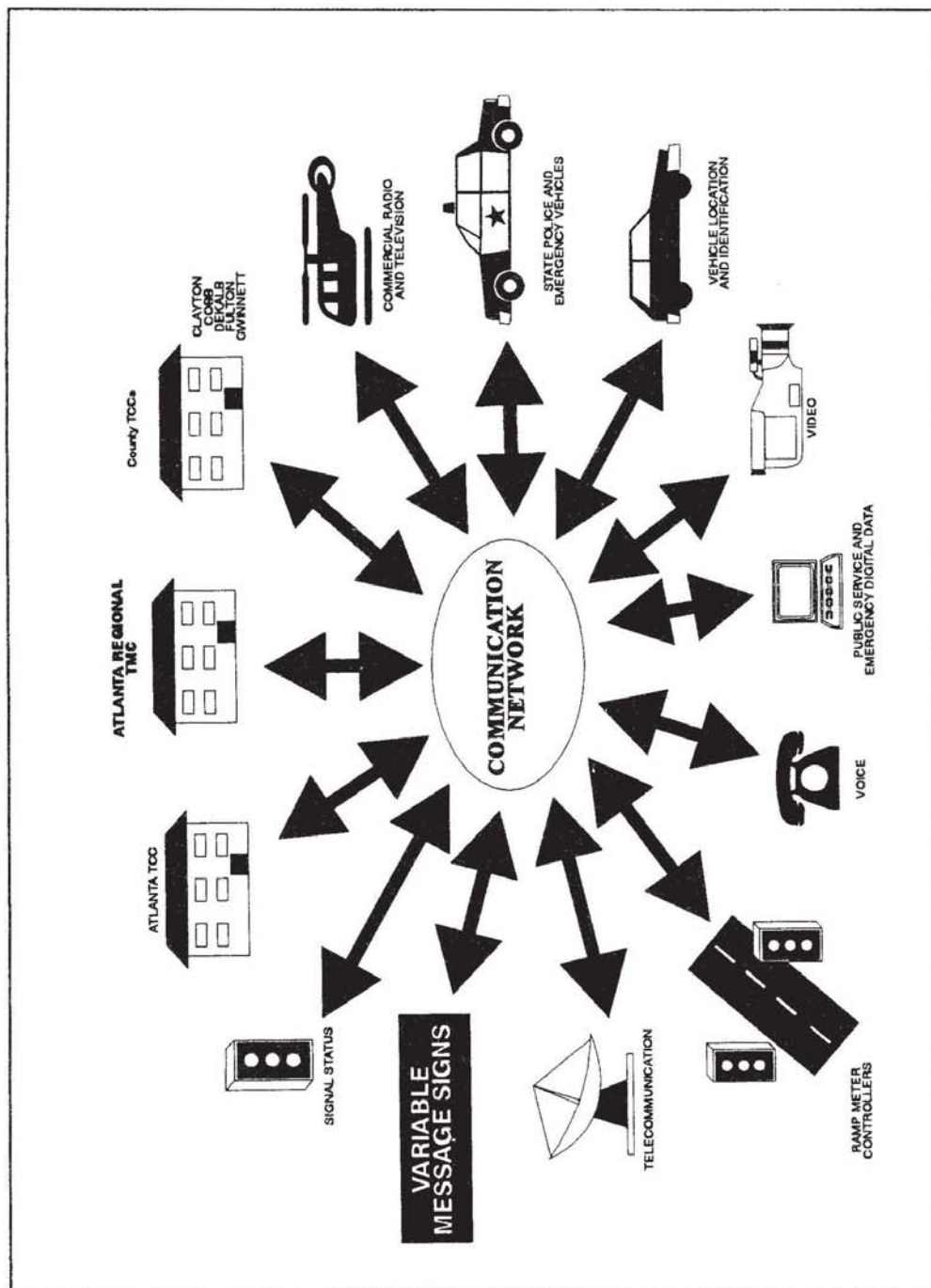


FIGURA 1: Componentes globales del SAGT para la región atlanteña.

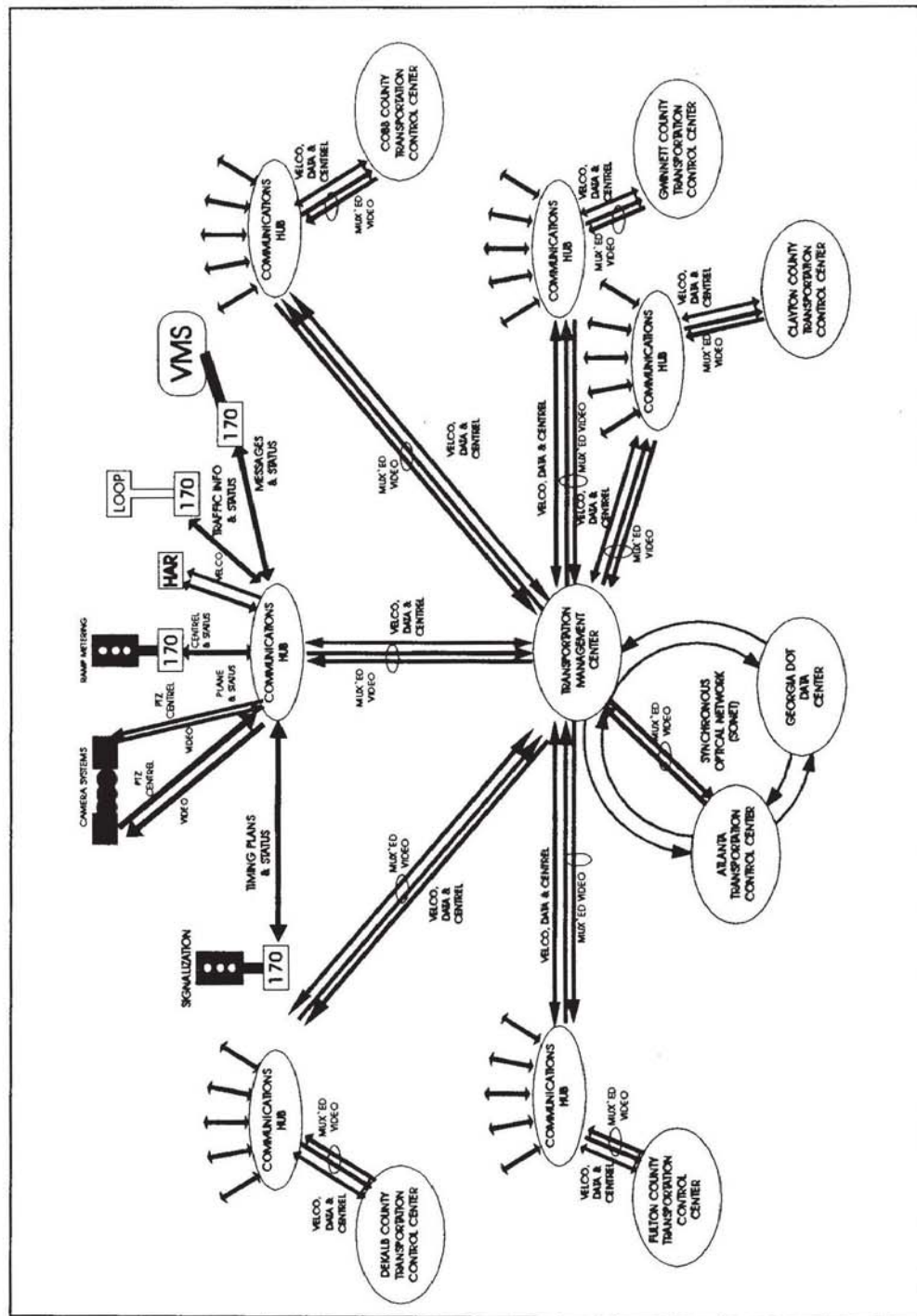


FIGURA 2: Flujo de video, voz y datos del SAGT para la región atlántica.

- Cinco vehículos de reacción a incidentes. Los vehículos vagarán por las autopistas y estarán muy bien equipados tanto para responder a accidentes de la mayor importancia como para darle apoyo a un vehículo varado.
- De las novecientas intersecciones con semáforos relacionadas con las Olimpiadas, 500 habrán tenido su controlador modernizado al máximo antes de los Juegos, en cuanto a control por medio de computadoras.
- Sincronización de los semáforos de un lado a otro de las fronteras entre las poblaciones. Un "efecto de ola verde" puede fluir ininterrumpido, minimizando las paradas y el retraso.
- Coordinación y cooperación de los medios de noticias.
- Acceso a comunicaciones de alta capacidad al combinar microondas, fibras ópticas, radio de spread spectrum y alambrado convencional de cobre.

El componente principal del proyecto es el CGT, un edificio de cuatro pisos, donde los operarios podrán ver y responder a cualquier actividad en cualquier autopista o arteria principal. El CGT le permitirá a los funcionarios estatales dirigir el sistema de autopistas a través de toda la región, y también dirigir el flujo de información entre el CGT, la Ciudad de Atlanta y los cinco condados principales de la gran Atlanta. Las autoridades locales tendrán sus propios centros de control de tránsito (los CCT). Esto significa que el centro de control del transporte en un condado, por ejemplo, podrá ver la situación del tránsito en otro y coordinar su propia reacción. Por primera vez, habrá comunicación organizada entre las diferentes agencias.

3. ESTIMACIONES DE LOS BENEFICIOS ESPERADOS EN CUANTO A LA CALIDAD DEL AIRE

Los análisis de la calidad del aire demuestran que, a veces, hay un alto porcentaje de peligroso ozono a baja altura en el área metropolitana. El gobierno federal ha clasificado el área como una zona "grave" debido a la contaminación por ozono. Atlanta, que cuenta con 20 días al año de exceso de ozono, es la peor ciudad en el Sureste de los Estados Unidos en este respecto. Los niveles de ozono tienden a alcanzar su mayor concentración en las tardes calurosas del verano, como las que se esperan para el evento en julio de 1996. Atlanta necesita cumplir con las normas de la enmienda del Acta del Aire Limpio de 1990, porque fallar en esto podría detener nuevas construcciones planeadas. Además, una buena parte de los fondos federales provistos para el SAGT es una subvención destinada al mejoramiento de la calidad del aire. El GDOT tiene serios planes para atacar directamente el problema de la contaminación del aire a través de los componentes del SAGT. A continuación se explican las estimaciones que se han realizado de los beneficios de los siguientes dos componentes del SAGT:

- SemafORIZACIÓN Mejorada
- Manejo de Incidentes

3.1 SemafORIZACIÓN Mejorada

Aproximadamente 500 semáforos en intersecciones de la ciudad serán actualizados o modernizados para 1996. El mejoramiento de los semáforos proporciona las herramientas necesarias para una



flexible y eficiente temporización de los semáforos, una mejor detección de vehículos, una mejor coordinación de semáforos y una detección más rápida de cualquier malfuncionamiento en la intersección. Como consecuencia, se minimizan las paradas y demoras de vehículos, se incrementan las velocidades promedio de viaje y se mejora la calidad del aire. Mil noventa y cuatro intersecciones adicionales serán mejoradas o modernizadas luego de las Olimpiadas de 1996, resultando en un total de 1.594 intersecciones mejoradas con un costo capital de 17,3 millones de dólares.

Los impactos de la calidad del aire de este programa no están reflejados en el modelo actual de transporte regional. Por lo tanto, la Comisión Regional de Atlanta (1994) desarrolló un "análisis fuera del modelo" para determinar los cambios en emisiones de vehículos debido a la implementación del proyecto. Los pasos ejecutados fueron los siguientes:

1. Cálculo del cambio en las millas transitadas por vehículo por día (MTV).
2. Cálculo, por medio de valores tabulados, del impacto de emisiones de HC y NO_x, como sigue:
 - (a) Multiplicando el cambio en las MTV diarias (por una longitud promedio de viaje) por los factores apropiados en las tablas del modelo de emisiones Mobile 5A.
 - (b) Se consideran dos conjuntos de factores debido al arranque en frío de los motores de los vehículos. El primer factor, "20% de Arranque en Frío" asume que el 20 por ciento de los vehículos operan en la condición de arranque en frío. El segundo factor, "80% de Arranque en Frío" asume que el 80 por ciento de los vehículos operan en la condición de arranque en frío.

Generalmente, las emisiones son más altas cuando un vehículo opera en esta condición de arranque en frío, ya que el motor y el equipo de control de emisiones del vehículo (particularmente el convertidor catalítico) están a temperatura ambiente, y por lo tanto, no pueden operar a niveles óptimos. Un ejemplo de esta condición de arranque en frío es los primeros ocho minutos de emisiones cuando un vehículo arranca en la mañana después de un estado de inactividad durante toda la noche.

Las emisiones son un poco más bajas en la condición de arranque en caliente, la cual se refiere a que el vehículo no está completamente caliente pero tampoco ha estado inactivo el tiempo suficiente para enfriarse completamente a temperatura ambiente (aproximadamente 3 horas). Un ejemplo de arranque en caliente es las emisiones resultantes de un vehículo que ha hecho paradas frecuentes y en cada una de ellas de apaga y se enciende el motor.

Finalmente, las emisiones más bajas se presentan cuando el vehículo está operando en un modo estable, y ha estado operando continuamente por un tiempo suficiente para que todos los sistemas hayan alcanzado condiciones de operación en caliente relativamente estables.

El factor del 80 por ciento de arranque en frío se utiliza para viajes con menos de cinco millas (viajes a estacionamientos para pasajeros, etc.) El factor del 20 por ciento de arranque en frío se utiliza para todos los otros tipos de viaje.



- (c) Los análisis utilizan velocidades representativas para el cálculo de emisiones contaminantes. Los análisis utilizan los periodos pico y valle y las velocidades promedio para derivar las emisiones contaminantes en viajes hechos en autopistas y arterias. Generalmente, las medidas de control de transporte que son diseñadas principalmente para los viajeros cotidianos (tal como las medidas para viajes compartidos) utilizan factores de emisiones de las velocidades del periodo pico. Aquéllas medidas diseñadas para atraer viajes que no sean de vehículos de un sólo pasajero durante todo el día (tal como las mejoras a instalaciones para peatones) frecuentemente utilizan factores de velocidades promedio.
- (d) Los factores de emisión son únicos para cada tipo de vehículo. Estos análisis utilizaron factores de emisión para vehículos livianos, tal como el automóvil del pasajero típico.
- (e) Se convierten los gramos por día a toneladas por día ($907.200 \text{ gramos} = 1 \text{ tonelada de } 2000 \text{ libras}$)

Los cálculos para el proyecto de semaforización se hicieron asumiendo lo siguiente:

- (1) Un incremento proyectado del 10% en velocidades promedio debido a las mejoras
- (2) No hay reducción en las emisiones de vehículos en calles menores
- (3) 80 por ciento de arranques en frío

Los beneficios en la calidad del aire debido al mejoramiento de 1.594 intersecciones con semáforo fueron cuantificados como sigue:

1. Basados en una muestra de arterias en las cuales serán implementadas mejoras en los semáforos, el número promedio de intersecciones semaforizadas por milla de arteria es cinco.
2. El Tránsito Diario Promedio (TDP) en las arterias de la ciudad de Atlanta es 27.120. El volumen de tránsito en calles menores no fue estimado, debido a que el análisis no asumió ninguna mejora en el flujo de tránsito de calles menores.
3. Las mejoras en las 1.594 intersecciones semaforizadas afectarán 319 millas de arterias ($1.594/5$) o un total de 8.651.280 vehículos por milla de viaje (319×27.120). Cuarenta por ciento de éstos, ó 3.460.512 vehículos por milla de viaje, se asumen que son de los viajes del periodo pico, y 60% (5.190.768 vehículos por milla) de los viajes en periodos valles.
4. Se anticipa que las mejoras de los semáforos incrementarán las velocidades de los vehículos en las arterias en un 10 por ciento, basado en los resultados de una investigación hecha por la Administración Federal de Autopistas de los Estados Unidos (la Federal Highway Administration o FHWA). El incremento del 10% consideró que las "condiciones anteriores" fueron una mezcla de semáforos de tiempo fijo o accionados, interconectados o no que operan con varios tipos de planes de temporización, y que las "condiciones posteriores" son basadas en el control por computadoras.



El 10% de incremento aumentará las velocidades promedio de viaje de 21,5 mph a 23,6 mph en los periodos picos, y de 26,8 mph a 29,4 mph en los periodos valle.

Un ejemplo de un cálculo de emisiones de vehículos utilizando valores tabulados sigue a continuación:

Para 1996:

Las emisiones de HC en el periodo pico sin mejoras en los semáforos:
(Una rata de emisiones para 21,5 mph para 80% de arranques fríos)(MTV)
 $= (2,13)(3.460.512) = 7.371.081$ gramos ó 8,13 toneladas por día

Las emisiones de HC en el periodo pico con mejoras en los semáforos:
(Una rata de emisiones para 23,6 mph para 80% de arranques fríos)(MTV)
 $= (1,99)(3.460.512) = 6.886.419$ gramos ó 7,59 toneladas por día

Reducción de emisiones de HC en el periodo pico = 0,54 toneladas por día

Para 1999:

Las emisiones de HC en el periodo pico sin mejoras en los semáforos:
(Una rata de emisiones para 21,5 mph para 80% de arranques fríos)(MTV)
 $= (1,72)(3.460.512) = 5.952.081$ gramos ó 6,56 toneladas por día

Las emisiones de HC en el periodo pico con mejoras en los semáforos:
(Una rata de emisiones para 23,6 mph para 80% de arranques fríos)(MTV)
 $= (1,60)(3.460.512) = 5.536.819$ gramos ó 6,10 toneladas por día

Reducción de emisiones de HC en el periodo pico = 0,46 toneladas por día

Este ejemplo muestra como la reducción disminuirá con el tiempo, debido a una baja de la rata de emisiones con el tiempo. La rata de emisiones de HC, aún en ausencia de mejoras en los semáforos, disminuirá por sí sola ya que los vehículos más viejos y contaminantes serán gradualmente reemplazados por vehículos nuevos y menos contaminantes.

Estos cálculos se hicieron para ambos periodos pico y valle, para los 4 años de 1996, 1999, 2005 y 2010, para ambos HC y NOx, con los siguientes resultados en toneladas por día:

Año	1996	1999	2005	2010
Reducción de HC Debido a los Proyectos	1.23	1.03	0.94	0.84
Reducción de NOx Debido a los Proyectos	-0.15	-0.13	-0.13	-0.19

La reducción negativa, o incremento, en NOx es debido al incremento de las velocidades como consecuencia de las mejoras de los semáforos.



3.2 Manejo de Incidentes en las Autopistas

Los incidentes que ocurren debido a vehículos que se quedan sin gasolina, ruedas pinchadas, varados por otra causa, y accidentes mayores y menores son contados como al menos la mitad de las causas de todo el congestionamiento del tránsito que ocurre en autopistas. La implementación del SAGT reducirá el tiempo de detección y respuesta a incidentes debido a mejores comunicaciones y métodos de vigilancia. La reducción en demoras resultará en menores emisiones de vehículos. Diez secciones de autopista, totalizando 59 millas, han sido programadas por proyectos de manejo de incidentes, la mayoría de los cuales serán completados para 1996 a un costo de 27,55 millones de dólares.

La reducción de la duración de los incidentes influye la demora vehicular, como se puede ver en el diagrama tiempo-espacio en la Figura 3. Punto A es el momento en que el incidente ocurre. Punto B es el momento en que el incidente se despejaría en presencia de un SAGT, y Punto C es el momento en que el incidente se despejaría en la ausencia de un SAGT. El área D representa la demora vehicular experimentada después de un incidente, con la ventaja de un SAGT, y la suma de las áreas A más E son la demora vehicular sin un SAGT.

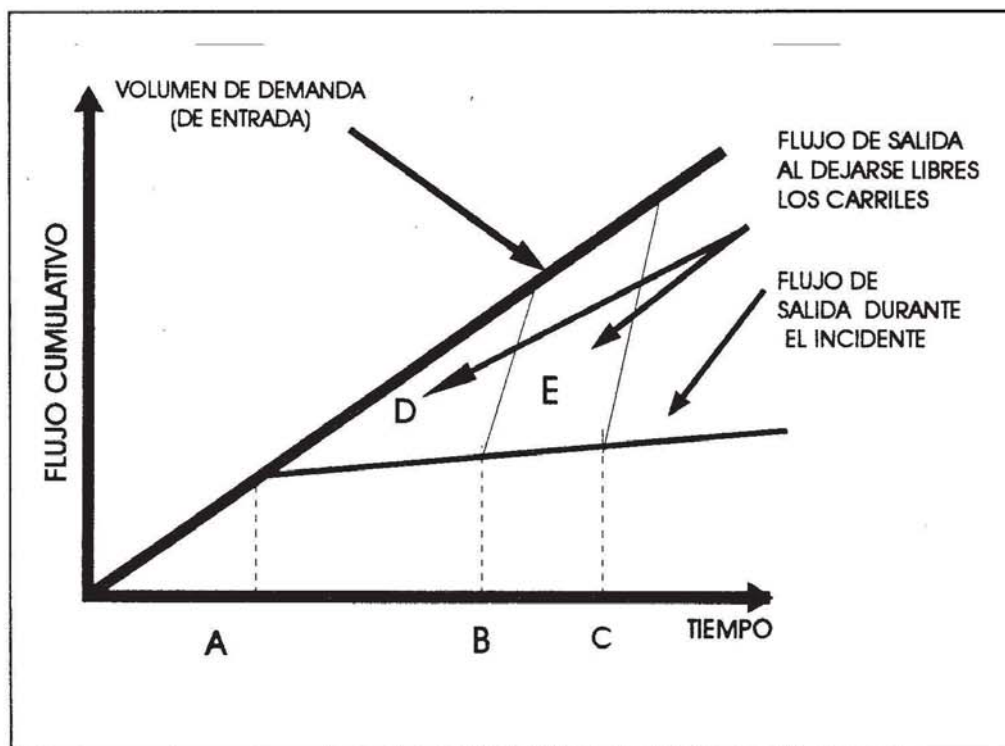


FIGURA 3. Diagrama de tiempo-espacio

La Comisión Regional de Atlanta (1995) estimó los impactos en la calidad del aire de estos proyectos. La metodología utilizó los siguientes procedimientos y suposiciones:

1. La frecuencia de accidentes reportados fue obtenida para cada segmento de autopista.
2. Se asumió que la mitad de todos los accidentes ocurren en el periodo pico.



3. El número de incidentes donde no están envueltos choques entre vehículos, fue tomado como 8 veces el número de accidentes reportados, de acuerdo a los resultados de la investigación hecha por la FHWA.
4. Las figuras de accidentes y de incidentes donde no están envueltos choques entre vehículos fueron estratificadas en cuanto a la severidad (número de carriles bloqueados) de acuerdo con factores multiplicadores obtenidos por Reiss y Dunn (1991) (Tabla 1).

Gravedad	Accidentes (Choques)	Incidentes Sin Choque
Bloqueando Un Carril	43%	12%
Bloqueando Dos Carriles	8%	1%
Bloqueando Tres Carriles	2%	0%
Bloqueando Cuatro Carriles	0.5%	0%

TABLA 1. Distribución de incidentes según su gravedad

Por ejemplo, aproximadamente el 43% de todos los accidentes en las autopistas y el 12% de todos los incidentes donde no están involucrados choques entre vehículos, bloquean un sólo carril de la autopista.

5. Las duraciones de los incidentes y los tiempos para responder y despejar la autopista fueron estimados para varios tipos de incidentes y severidades de los datos de la investigación de la FHWA (Tabla 2).

Tipo y Gravedad de Incidente	Duración Promedio del Incidente Antes del SAGT, Horas	Duración Promedio del Incidente Después del SAGT, Horas
Accidente: 1 Carril Bloqueado	1,00	0,50
Accidente: 2 Carriles Bloqueados	1,50	1,25
Accidente: 3 Carriles Bloqueados	2,00	1,50
Accidente: 4 Carriles Bloqueados	2,50	2,00
Accidente: 5 Carriles Bloqueados	3,00	2,50
Incidente: 1 Carril Bloqueado	0,50	0,25
Incidente: 2 Carriles Bloqueados	0,75	0,50

TABLA 2. Duración estimada de incidente

Por ejemplo, en un incidente en el cual un carril es bloqueado, se estimó que tiene una duración de 1,00 horas en la ausencia de un sistema de manejo de incidentes, y de 0,5 horas si un SAGT ha sido implementado.



6. Los volúmenes de demanda por hora en periodos pico fueron estimados tomando el 40% del TDP en cada segmento de autopista y distribuyendolo por igual en las 5 horas del periodo pico por día.
7. Se estimó que los volúmenes de tránsito se incrementarán en 1% por año.
8. Las reducciones en capacidad como resultado de los varios tipos de incidentes y severidades fueron estimadas de los datos de la investigación de la FHWA (Tabla 3).

Número de Carriles en Cada Sentido	Número de Carriles Bloqueados	Reducción en Capacidad Por Ciento
Dos	Uno	70
Tres	Uno	50
Tres	Dos	80
Cuatro	Uno	33
Cuatro	Dos	65
Cuatro	Tres	80
Cinco	Uno	20
Cinco	Dos	50
Cinco	Tres	70
Cinco	Cuatro	85
Seis	Uno	17
Seis	Dos	45
Seis	Tres	65
Seis	Cuatro	90

TABLA 3. Reducciones en capacidad

Por ejemplo, un incidente bloqueando uno de los dos carriles en un sentido reduce la capacidad en un 70%.

9. Ecuaciones de cola se utilizaron para estimar reducciones en demoras debido a la implementación del SAGT.

Las reducciones en demoras realizadas después del SAGT se estimaron por medio de las ecuaciones de la teoría del flujo del tránsito y la teoría de colas tomadas del texto *Traffic Flow Fundamentals* (Adolph May, 1990). Las ecuaciones que aparecen en la Tabla 4 se usaron para estimar las demoras y características de recorrido de diversos tipos de incidente y niveles de gravedad, para cada tramo de autopista. La entrada crítica a estas ecuaciones fue t_R (la duración del incidente), aunque la demanda y la capacidad, también, varían de periodo a periodo del análisis.

Características del Tránsito	Ecuación
Duración de Cola, horas	$t_Q = t_R(\mu - \mu_i)/(\mu - \lambda)$
Número de Vehículos Demorados por la Cola	$N_Q = \lambda \cdot t_Q$
Longitud Promedio de Cola, vehículos	$Q_Q = t_R(\lambda - \mu_i)/2$
Longitud Promedio de Cola, millas	$Q_M = Q_Q(20^*)/5280$
Demora Promedio en Cola, por Vehículo, minutos	$d_Q = 30 t_R(\lambda - \mu_i)/\lambda$
Velocidad Promedio de Vehículos en Cola, millas por hora	$s_Q = Q_M/(Q_M/37^{**}) + (d_Q/60)$

donde:

t_R = duración del incidente en horas

μ = capacidad del tramo de autopista, vehículos por hora

μ_i = capacidad del tramo de autopista durante un incidente, vehículos por hora

λ = demanda vehicular en el tramo de autopista en el periodo pico, vehículos por hora

* longitud promedio de vehículo, más la brecha promedio, mientras en cola

** velocidad promedio de autopista, en el periodo pico, millas por hora

TABLA 4. Ecuaciones de cola

Si se sabe el número de vehículos involucrados en el incidente, la longitud promedio de la cola, y la velocidad promedio en la cola, el impacto ambiental se puede estimar por medio de la siguiente ecuación:

$$E_T = N_Q \times Q_M \times E_R \quad (1)$$

donde:

N_Q = número de vehículos afectados por la cola

Q_M = longitud promedio de la cola, en millas

E_R = rata de emisiones para la velocidad de vehículo promedio en la cola, en gramos por milla

El impacto de emisiones total, E_T en gramos por incidente, se calcularon de esta ecuación. Las reducciones de emisiones estimadas en toneladas por día se calcularon como sigue:

Año	1996	1999	2005	2010
Reducción en HC	0.675	0.648	0.768	0.917
Reducción en NOx	0.636	0.708	0.857	1.15



Con el tiempo, la tabla muestra mejoras en las reducciones con el tiempo debido a que una sección más de la autopista estará bajo control del sistema en los últimos años de la tabla, y porque la rata anual de crecimiento en la demanda de tránsito fue suficiente para causar saturación en varias secciones de la autopista, resultando en un crecimiento exponencial en la demora.

4. CONCLUSIONES

El documento describe un ambicioso programa hecho por el Georgia DOT, en cooperación con agencias federales y locales, para implementar un SAGT que servirá a las necesidades de la ciudad de Atlanta y del estado de Georgia en el próximo siglo. En el documento se explica la metodología de los análisis hechos fuera del modelo de los impactos de la calidad del aire debido a mejoras en los semáforos y el manejo de incidentes en autopista. Los análisis muestran que los proyectos reducirán la emisión de contaminantes, llevando mucho más cerca a la ciudad de Atlanta a cumplir con los requisitos de aire limpio.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al Ing. Mark Demidovich de la Oficina de Operaciones de Tránsito del GDOT, al señor Miles Gilmour miembro de la Comisión Regional de Atlanta (CRA), y al Dr. Wassim Selman actualmente de la empresa Post Buckley Schuh y Jernigan y anteriormente miembro de la CRA, y al Ing. Gerald T. Stuart de la oficina de Sistemas de Transporte y Apoyo de la empresa TRW, por su valiosa ayuda al proporcionar las figuras y textos usados en este trabajo.

REFERENCIAS

May, Adolph D. (1990) Traffic Flow Fundamentals. Prentice Hall, Englewood Cliffs, Nueva Jersey, pag. 348.

Parsonson, P.S. (1994) Atlanta enfrenta el desafío del tránsito para los Juegos Olímpicos de 1996. **Memorias VIII Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito y Transportes**, 317-330, Asociación Mexicana de Ingeniería de Transportes, A.C., Ciudad de México, Julio 1994.

Reiss, R. y Dunn, W. (1991) Freeway incident management handbook. **Report No. FHWA-SA-91-056**, US Department of Transportation, Washington, DC.

The Atlanta Regional Commission (1994) Technical Appendix -E, Off-Model Emissions Analysis, ARC Model Area, Conformity Finding for: Atlanta Regional Transportation Improvement Program FY 1995 - FY 2000 and Regional Transportation Plan:2010, Adopted September 28, 1994.

The Atlanta Regional Commission (1995) Transportation Control Measure (TCM), Summary Assessment, TCM Definition: ATMS/Incident Management Plan, August 7, 1995.