



ISSN 0188-7297



SEÑALES DE MENSAJES VARIABLES PARA EL CONTROL DEL TRÁNSITO VEHICULAR

Jorge A. Acha Daza

Publicación Técnica No. 192
Sanfandila, Qro, 2002

**SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE**

**Señales de mensajes variables
para el control del tránsito
vehicular**

Jorge A. Acha Daza

**Publicación Técnica No. 192
Sanfandila, Qro, 2002**

Este trabajo fue elaborado por Jorge Acha Daza, investigador de la Coordinación de Integración del Transporte en el Instituto Mexicano del Transporte. Se reconocen los comentarios del Ing. Roberto Aguerrebere Salido, Coordinador de Integración del Transporte. Se aprecia también la información proporcionada por el Ing. Rubén Godoy Sánchez, Director de Ingeniería e Infraestructura Vial del Municipio de León, Gto.; el Ing. Oscar Alcaraz Spínola, Gerente de Electrónica Aplicada de CAPUFE; el Ing. Jorge Casahonda, de la Secretaría de Transporte y Vialidad del Gobierno del Distrito Federal; y el Ing. Fermín Santillán, del Consejo Estatal de Transporte de Nuevo León.

Indice.

Resumen	III
Abstract	V
Resumen ejecutivo	VII
1. Introducción	1
1.1. Medios de divulgación de la información de tránsito	1
1.2. Ventajas y desventajas de los medios de divulgación de la información de tránsito	1
1.3. Organización del trabajo	2
2. Señales de Mensajes Variables	5
2.1. Introducción	5
2.2. Señales de Mensajes Variables	6
2.3. Componentes de un sistema de SMV	7
2.3.1. Pantallas de los Sistemas de Señales de Mensajes Variables	8
2.3.2. Centro de control de un sistema de SMV	12
2.3.3. Equipo de monitoreo para un sistema de SMV	14
2.3.4. Red de comunicación para un sistema de SMV	15
2.4. Aplicaciones de las SMV en los Estados Unidos de América y en el resto del mundo	16
3. Uso de y respuesta a las Señales de Mensajes Variables	19
3.1. Usos de las señales de mensajes variables	19
3.2. Respuesta de los Conductores	20
4. Señales de Mensajes Variables Portátiles	23
4.1. Introducción	23
4.2. Señales de Mensajes variables portátiles	23

5. Beneficios y Costos de las Señales de Mensajes Variables.....	27
5.1. Beneficios.....	27
5.2. Costos.....	27
6. Conclusiones.....	31
7. Apéndice. Sistemas de Tableros Electrónicos de Mensajes Variables en Operación.....	33
8. Referencias.....	37

Resumen.

Las señales de mensajes variables son un medio para transmitir información acerca de las condiciones de tránsito a un mayor número de conductores a un costo menor al de otros medios de divulgación de esta información. Contrariamente a los sofisticados sistemas de información de tránsito en pantallas en el interior de los vehículos, los cuales requieren de la instalación de computadoras a bordo, además de sistemas de comunicación y el pago al proveedor del servicio, las señales de mensajes variables pueden ser vistas, sin necesidad de equipo adicional, por los conductores que pasen por el punto en el que se encuentre la señal. El uso de mensajes variables puede ayudar a la selección de mejores rutas y a reducir los niveles de congestión cuando la información es oportuna y correcta.

Este trabajo busca describir el estado actual de las señales de mensajes variables para el control del tránsito vehicular, indicando sus diferentes aplicaciones y presentado ejemplos de aplicación de las mismas. Después de la introducción al tema, este documento describe cada uno de los componentes de un sistema de señales de mensajes variables y lista los lugares en donde estos sistemas están siendo utilizados. El trabajo muestra también los beneficios y costos asociados al uso de las señales de mensajes variables. Finalmente, el trabajo presenta algunas recomendaciones generales y conclusiones.

Abstract.

Variable Message Signs (VMS) are a means to provide information about traffic conditions to a large number of drivers at a lower cost than other means to disseminate this information. Contrary to the sophisticated traffic information systems with in-vehicle displays, which need on board computers, communications systems and payment to service providers, VMS can be seen, with no additional equipment, by drivers passing nearby the signal. When the traffic information is accurate and given on time, the use of VMS can help to select better routes and to reduce traffic congestion.

This work tries to describe the state of the art regarding the use of VMS for traffic control, showing their uses and application examples. After the introduction, this work describes each of the components of VMS system and lists the places where these systems are being used. The work also shows the benefits and cost associated with the use of VMS. The last part of the work presents some general comments and conclusions.

Resumen ejecutivo.

Dentro del subsistema de divulgación de la información de un Sistema Inteligente de Transporte (SIT), se identifica a las señales de mensajes variables (SMV) como un medio para transmitir reportes actualizados acerca de las condiciones de tránsito a un mayor número de conductores a un costo menor al de otros medios, tales como sistemas de navegación con pantallas en el interior de los vehículos, Internet, kioscos o estaciones de radio o televisión con reportes de tránsito, usados para el mismo fin. Contrariamente a los sofisticados sistemas de información de tráfico en pantallas en el interior de los vehículos, los cuales requieren de la instalación de computadoras a bordo, además de sistemas de comunicación y el pago al proveedor del servicio, las señales de mensajes variables pueden ser vistas, sin necesidad de equipo adicional, por los conductores que pasen por el punto en el que se encuentre la señal.

El uso de mensajes variables puede ayudar a la selección de mejores rutas y a reducir los niveles de congestión cuando la información es oportuna y correcta. También pueden ayudar en corredores con altos índices de accidentes provocados por condiciones que pueden ser anticipadamente advertidas.

Este trabajo busca describir el estado actual de las señales de mensajes variables para el control del tránsito vehicular, indicando sus diferentes usos y presentado ejemplos de aplicación de las mismas. Después de la introducción al tema, se describe cada uno de los componentes de un sistema de señales de mensajes variables y lista los lugares en donde estos sistemas están siendo utilizados. El trabajo muestra también los beneficios y costos asociados al uso de las señales de mensajes variables. Finalmente, el trabajo presenta algunas recomendaciones generales y conclusiones.

Las SMV son dispositivos de control de tránsito que utilizan letras, símbolos o una combinación de ambos para, por medio de mensajes, informar a los usuarios acerca de las condiciones de tránsito en la zona de interés. Su ubicación puede ser sobre o a un lado de la carretera. Los mensajes mostrados pueden ser cambiados de manera manual o automática, en forma local o remota, con mensajes preestablecidos o escritos en el momento. Al igual que las señales fijas, la información mostrada puede ser informativa, de advertencia o restrictiva. Las fuentes de información de las señales son los sistemas de monitoreo o de vigilancia de la operación del sistema de tránsito. Ya que el éxito de las señales depende de la confianza que los usuarios tengan en ellas, es importante el mostrar información actualizada, completa y correcta.

Un sistema completo de señales de mensajes variables incluye: una o más pantallas, un centro de control, equipo de monitoreo y un sistema de comunicación de la información. Las pantallas pueden ser de reflexión de luz, emisión de luz o híbridas. El centro de control forma parte de los más elaborados centros de control

de tránsito. El equipo de monitoreo puede contar con detectores de arco de inducción embebidos en el pavimento, sistemas de detección de imágenes por medio de video y vehículos que moviéndose en el tránsito sirven como detectores, entre otros. El sistema de comunicación puede estar formado por redes de cables o inalámbricas.

En el caso de México, se encuentran instaladas SMV en las zonas metropolitanas de la Ciudad de México y Monterrey, N. L. En la Ciudad de México, los tableros se encuentran instalados en las principales vialidades como el Periférico y el viaducto Miguel Alemán. En Monterrey, los 20 tableros instalados forman parte del sistema de control de tránsito. En ambos casos, no se han llevado a cabo estudios para investigar el efecto de las señales en los conductores. Su utilidad se ha estimado sólo de manera subjetiva. CAPUFE cuenta con SMV portátiles, pero éstas son utilizadas solamente en zonas de construcción.

Por lo que respecta a los EUA, se tienen instaladas SMV en diversas poblaciones, tales como Anaheim y Santa Anna en California; Carretera Interestatal 95 en Filadelfia, Pensilvania; Charlotte, Carolina del Norte; Austin, Dallas, El Paso, San Antonio y Houston, en Texas; Arlington y Suffolk en Virginia; Phoenix en Arizona; Nueva Jersey; Maryland; Illinois; y Nueva York. En Europa las hay instaladas en Tapiola, Leicester, el Corredor Kent y la envolvente Birmingham-Nottingham-M25, Inglaterra; Costa Sur de Finlandia; Paris, Francia; Holanda, Dinamarca y Escocia.

Los usos de las SMV se basan en el nivel de aplicación que se desee, van desde guías para estacionamientos hasta la señalización de rutas en zonas metropolitanas, pasando por la advertencia de congestionamientos o de condiciones climáticas peligrosas, aviso de incidentes, desviaciones por obras, velocidades límite y control de patrones de viaje.

Respecto a la respuesta de los conductores a los mensajes mostrados en las SMV, se ha observado que su uso puede modificar sustancialmente los patrones de circulación de los vehículos, en particular en períodos de congestionamientos. Su uso es más efectivo en las horas pico de la mañana. El mensaje mostrado en una SMV es recordado por un mayor número porcentaje de conductores que los mostrados por las señales fijas. El usar señales variables junto con radares es más efectivo que las señales estáticas para modificar la conducta de los conductores respecto a los límites de velocidad.

Las SMV portátiles pueden usarse como controles temporales de tránsito para el cierre de caminos, carriles o rampas; manejo de emergencias o accidentes; reducciones de velocidad; aviso de horarios de trabajo; manejo de usuarios del camino y desviaciones; advertencia de condiciones adversas y control de la operación.

Los principales beneficios asociados a las SMV son: mejoras en la selección de rutas, ahorros en tiempos y distancias totales recorridos, reducción de congestionamientos en las horas pico, mejoras en la selección de rutas al ocurrir

incidentes y reducción en los costos de accidentes, reducción de efectos al medio ambiente por una menor contaminación de aire y reducción en el consumo de energía.

Los costos de los sistemas de SMV dependen de su propósito, escala y la tecnología a usar en el sistema. Los costos se relacionan con los costos de adquisición e instalación, su vida útil, costos de operación, mantenimiento y la tecnología usada.

1.Introducción.

Un sistema inteligente de transporte está formado por cuatro partes principales: un subsistema de recolección de información de tránsito, un subsistema de procesamiento de esa información y un subsistema de divulgación de la información, conectados entre sí por un subsistema de comunicación.

1.1. Medios de divulgación de la información de tránsito.

Dentro del subsistema de divulgación de la información, se identifican los siguientes medios para hacer llegar la información de las condiciones del sistema de transporte a los usuarios: sistemas de navegación con pantallas en el interior de los vehículos, tableros electrónicos con mensajes variables, Internet, kioscos y estaciones de radio o televisión con reportes de tránsito.

1.2. Ventajas y desventajas de los medios de divulgación de la información de tránsito.

Cada uno de los medios de divulgación de la información señalados tienen ventajas y desventajas. Los sistemas de navegación, con pantallas en el interior de los vehículos, pueden mostrar información actual y personalizada respecto a rutas a seguir para evitar congestionamientos y arribar al destino en el menor tiempo posible. Pueden mostrar también información detallada acerca de las condiciones de operación de la red de tránsito, balances en cuentas para el pago electrónico de peajes o estacionamientos, lugares disponibles en estacionamientos, Etc. Sin embargo, este medio de difusión presenta el inconveniente de un alto costo inicial de instalación del equipo y la necesidad de suscribirse a un sistema que proporcione la información actualizada vía señales de radio, de satélite o telefonía celular y cubrir un pago periódico.

Los tableros con señales de mensajes variables por su parte, contrariamente a las señales fijas, pueden proporcionar información actualizada acerca de las condiciones de tránsito en la zona aledaña al tablero. Estos tableros pueden mostrar información tal como niveles de congestionamiento o retrasos en vías principales, alternativas de circulación para llegar a un destino o lugares disponibles en estacionamientos. Aún cuando no proporcionan información con el nivel de detalle con que puede hacerlo un sistema de navegación instalado en el interior de un vehículo, su bajo costo por usuario beneficiado representa un importante atractivo para su uso en corredores que cuenten con un elevado número de usuarios o con un alto índice de accidentes provocado por condiciones que puedan ser anticipadamente advertidas a los conductores, tales como la

formación de neblina, pavimento resbaladizo por hielo o lluvia y construcción o mantenimiento de calles y carreteras.

Los sistemas de información de tránsito vía Internet proporcionan información a un bajo costo para la planeación de viajes antes de iniciar el trayecto. En la actualidad, existen sitios de Internet en diversos países que muestran información casi en tiempo real, con mapas de las principales vialidades en ciudades e inclusive imágenes que muestran las condiciones de tránsito. Su principal desventaja es la necesidad de contar con un equipo de computación y con una conexión a Internet. Su uso en el interior de los vehículos puede verse limitado ya que, por la atención que se le debe prestar, se requiere la presencia de un operador del equipo de cómputo distinto al conductor.

Los kioscos son pantallas con acceso a Internet o a sistemas de información de transporte público instaladas en lugares con acceso libre. Su principal utilidad es la de mostrar información de tránsito sin la necesidad de contar con equipo de cómputo propio. Este medio de difusión presenta el inconveniente del número limitado de usuarios posibles, ya que sólo aquellos que se encuentren cerca de los lugares en donde se instalen los kioscos podrán consultar la información.

Las estaciones de radio con reportes del tránsito proporcionan información de las condiciones de tránsito en forma oral. La potencia de sus transmisores limita la zona cubierta y el nivel de detalle con el que pueden proporcionar la información. Estaciones comerciales, generalmente con una gran potencia de transmisión, limitan sus reportes a información regional y sólo en el caso de problemas serios a información más detallada. Estaciones con menor potencia y dedicadas exclusivamente a la transmisión de información de tránsito, transmiten en puntos localizados de un corredor y pueden proporcionar información detallada acerca de las condiciones de operación de la red, restricciones de circulación, eventos especiales o direcciones a atracciones turísticas (Wanat, 1998).

Las estaciones de televisión comercial con reportes del tránsito transmiten imágenes que muestran las condiciones de operación de la red, pero su utilidad y cobertura se ven limitadas por el número y alcance de las cámaras de video con las que cuenta el sistema de cobertura de la red. Se utilizan comúnmente las imágenes de cámaras fijas y en ocasiones desde helicópteros. Generalmente transmiten imágenes captadas por los sistemas de circuito cerrado de la autoridad que opera la red de tránsito.

1.3. Organización del trabajo.

De los sistemas de difusión de la información de tránsito brevemente descritos arriba, este trabajo se ocupa en mayor detalle de las señales con información variable. En los capítulos siguientes, se presentan las diferentes clases de señales de mensajes variables y sus componentes; se describen sus usos y la respuesta de los conductores, tanto en la operación de una vía de circulación como en zonas

de construcción; se describen también los beneficios y costos asociados a la instalación y operación de esta clase de señales; se muestran aplicaciones en diferentes países y finalmente se anotan las conclusiones.

2. Señales de Mensajes Variables.

Este capítulo describe la conformación de un sistema de señales de mensajes variables. En la primera parte, se describen las diferentes clases y características de las señales de mensajes variables (SMV). Enseguida se mencionan los distintos elementos que complementan los sistemas de señales de mensajes variables: el centro de control de tránsito, los equipos de recolección de información de tránsito y los sistemas de comunicación de esta información.

2.1. Introducción.

De acuerdo con el Manual de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito del Departamento de Transporte de los Estados Unidos de América (MDUCT-DOT), los dispositivos de control son importantes por que optimizan la operación de las redes de tránsito, promueven la uniformidad a nivel nacional y ayudan a mejorar la seguridad al reducir el número y la severidad de los accidentes. (<http://mutcd.fhwa.dot.gov>). Los dispositivos de control de tránsito advierten a los usuarios de los caminos de las reglas de operación guiándolos hacia una operación segura, uniforme y eficiente de todos los elementos que componen el tránsito.

Los cinco requerimientos básicos que debe cumplir un dispositivo de control de tránsito para ser efectivo son:

- A. Llenar una necesidad.
- B. Llamar la atención.
- C. Transmitir un significado simple y claro.
- D. Ser respetado por los usuarios de los caminos.
- E. Dar el tiempo suficiente para una respuesta adecuada.

Para cumplir los requerimientos anteriores un dispositivo de control de tránsito deberá cumplir requisitos de: diseño; ubicación y operación; mantenimiento; y uniformidad.

La ubicación de un dispositivo de control de tránsito debe ser dentro del campo visual del usuario para lograr una mejor comprensión. El dispositivo debe estar apropiadamente colocado con respecto a la localización, objetivo o situación para la que se aplica. La ubicación y legibilidad de los dispositivos de control de tránsito debe ser tal que den el tiempo suficiente para la respuesta del usuario de día o de noche.

Los dispositivos de control de tránsito deben colocarse de manera uniforme y consistente. Los controles de tránsito innecesarios deberán removerse. No es suficiente que un dispositivo se encuentre en buen estado para que no sea

removido o cambiado. Los dispositivos de control deberán revisarse periódicamente para determinar si cumplen con las condiciones de tránsito actuales.

2.2. Señales de Mensajes Variables.

Las SMV son dispositivos de control de tránsito que muestran mensajes que utilizan letras, símbolos o ambos. Pueden estar colocadas a un lado o sobre la carretera. El mensaje mostrado puede cambiarse a voluntad del operador, bien sea mediante la operación manual de la señal en forma local o remota, o en forma automática por medio de un programa de computadora que responda a las condiciones de tránsito o del clima. Esta clase de señales se utiliza para dar información a los usuarios acerca de las condiciones cambiantes a fin de mejorar la operación de la red, reducir accidentes e informar a los conductores. Las señales pueden sugerir cambios en la velocidad de conducción, de carriles de circulación o rutas o simplemente advertir de cambios en las condiciones de tránsito futuras (Wei, 1998).

Las SMV pueden informar acerca de congestionamientos recurrentes, congestionamientos no-recurrentes, problemas relacionados al clima imperante en la zona, congestionamientos causados por eventos especiales, rutas, restricciones de velocidad, construcciones o mantenimiento y otras condiciones cambiantes. Al igual que otras señales de tránsito, la información que proporcionan las SMV puede ser informativa, de advertencia o restrictiva.

La información que se muestra en los SMV puede venir de diferentes fuentes de monitoreo o de vigilancia de las condiciones de operación de la red de tránsito. Para conservar la credibilidad de un sistema de señales variables es importante que la información sea confiable y cuando no se tenga la información completa, o ésta se considere incorrecta, será mejor no mostrarla al público.

Las normas generales para esta clase de señales, indicadas por el MDUCT-DOT son:

- Las señales de mensajes variables no deberán tener otro propósito que el mostrar información restrictiva, de advertencia o de guía relacionada al flujo de tránsito.
- Las señales que usen palabras deberán contener mensajes tan cortos como sea posible y las letras deberán ser de un tamaño que permita su legibilidad a una distancia adecuada. Un razón específica es la de 25 mm por cada 12 m de distancia de legibilidad.
- Las abreviaciones deben de ser mínimas e incluir sólo aquellas que no den lugar a confusión.

- Las señales sobre la carretera deberán usarse cuando se desee cierto control del uso de los carriles o cuando no haya espacio a los lados del camino.
- Las SMV deben de ser capaces de mostrar varios mensajes en secuencia. Tales mensajes podrán modificarse en forma manual, por control remoto o usando controles automáticos. Las SMV deberán mostrar sólo información de operación y guía del tránsito y nunca propaganda o publicidad.
- Debido a que la tecnología de las señales de mensajes variables está cambiando todavía, los estándares para esta clase de señales no son todavía prácticos. Las consideraciones que influyen la selección de la mejor señal para una aplicación en particular incluyen su legibilidad, operación y mantenimiento.
- Las señales de mensajes variables deberán usar letras mayúsculas y un tamaño de letra preferentemente de 450 mm y no inferior a 265 mm. Las señales deberán limitarse a no más de tres líneas y no más de 20 caracteres por línea.
- No deberán usarse más de dos pantallas en un mensaje.
- Cada pantalla debe transmitir una sola idea.
- Debe de ser posible que el mensaje completo sea leído al menos dos veces por los conductores moviéndose a la velocidad límite indicada.
- Los mensajes deberán estar centrados en cada línea de la pantalla. Si es posible ver más de dos señales al mismo tiempo, sólo una de ellas deberá contener un mensaje en secuencia en cualquier momento.
- Una señal de mensajes variables de tres líneas deberá limitarse a no más de dos mensajes.
- No deberán usarse técnicas para mostrar un mensaje como decolorado, explosión, disolución o mensajes en movimiento (<http://mutcd.fhwa.dot.gov>).

2.3. Componentes de un sistema de SMV.

Un sistema completo de SMV consta de los siguientes cuatro componentes:

- 1) Una pantalla.
- 2) Un centro de control.
- 3) Un equipo de monitoreo.
- 4) Una red de comunicación.

2.3.1. Pantallas de los Sistemas de Señales de Mensajes Variables.

Las Pantallas de las SMV utilizan un formato matricial para representar caracteres y símbolos. Existen tres diseños para este tipo de pantallas:

- Una o más líneas compuestas de módulos que conforman matrices de 5 x 7 caracteres cada uno (Fig. 2.1).
- Una o más líneas con matrices de línea continua. (Fig. 2.1).
- Matriz de Pantalla Completa (Fig. 2.3).

La pantalla de matriz completa es la más flexible para desplegar información, aunque es la alternativa de mayor costo.

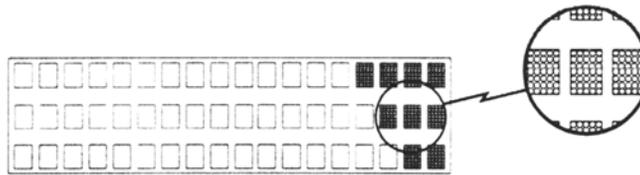


Figura 2.1 SMV de Matriz Modular



Figura 2.1 SMV de Matriz de Línea Continua



Figura 2.3 SMV de Matriz Completa

De acuerdo a la fuente de iluminación que utiliza la señal para mostrar su mensaje, las SMV se clasifican en las siguientes tres categorías:

- 1) Señales de Reflexión de Luz.
- 2) Señales de Emisión de Luz .
- 3) Señales Híbridas.

1) SMV de Reflexión de Luz.

Estas señales, como su nombre lo indica, reflejan la luz que proviene de una fuente externa como la luz de los faros de un vehículo o la luz solar. Existen dos clases de SMV de reflexión de luz, las de disco reflejante que son las más comunes y las de tambor rotatorio. Las primeras tienen una capacidad infinita para desplegar mensajes. Por el contrario, las de tambor tienen como limitación el número de mensajes que pueden desplegar.

Una característica de las SMV de reflexión de luz es que, a excepción de los requisitos de iluminación externa e interna y el manejo de controles, sólo se requiere energía cuando se cambian los mensajes que la señal muestra.

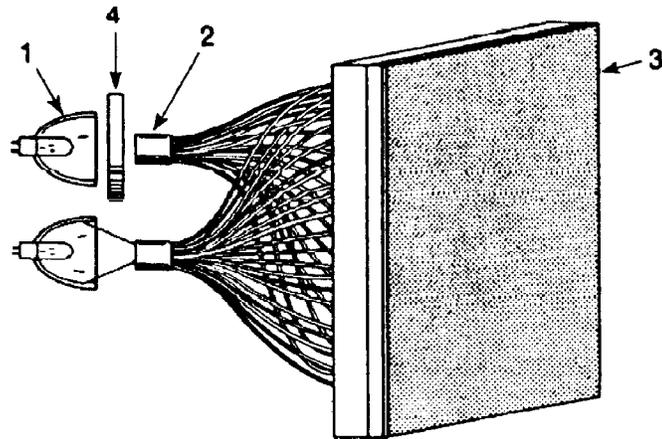
Los discos reflejantes utilizados en las SMV pueden ser:

- 1) Discos Circulares.
- 2) Discos Rectangulares.
- 3) Discos Dimensionales Cuadrados.

En general, el funcionamiento de estos tres tipos de SMV es por medio de discos que se encuentran permanentemente magnetizados y montados sobre una serie de pivotes sobre un fondo oscuro. Los mensajes son cambiados por medio de la rotación electromagnética de los discos apropiados mostrando la superficie reflejante que es de color amarilla (Dudek, 1997). Estos tipos de señal se fabrican en los tres formatos matriciales.

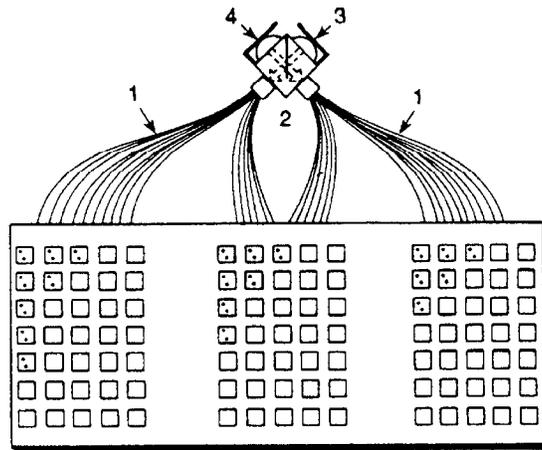
2) SMV de Emisión de Luz.

Los tipos más comunes de señales de emisión de luz son las de matriz de bulbo (incandescentes), matriz de fibra óptica y las de matriz de diodo (LED). Las señales de matriz de bulbo fueron las primeras señales que se usaron para el control de tránsito y también se les conoce como de "Lámpara Matricial". Recientemente, con los avances de la tecnología, se han desarrollado las señales de fibra óptica y LED. Las señales de fibra óptica pueden ser de dos tipos, de malla fija (Fig. 2.4) o de matriz con obturador (Fig. 2.5).



- 1. Lámpara de Halógeno
- 2. Multiconector de Fibra Óptica
- 3. Pantalla
- 4. Filtro

Figura 2.4 SMV de Fibra Óptica de Malla Fija.
(Fuente: Dudek, 1997)



- 1. Fibras Ópticas
- 2. Módulo de Iluminación
- 3. Lámparas Principales
- 4. Lámparas de Respaldo

Figura 2.5 SMV de Fibra Óptica con Obturador
(Fuente: Dudek, 1997)

Estas señales funcionan a través de una lámpara de halógeno que emite luz por una serie de fibras ópticas, estos puntos de luz llamados pixeles son organizados para formar los mensajes específicos (palabras, números y/o símbolos) en la parte frontal de la señal. Las fibras también pueden organizarse en módulos de 5X7 caracteres. Las señales de diodo (LED) funcionan en forma similar a las señales de bulbo, con la excepción de que cada elemento es un conjunto de focos (LED) (Fig. 2.6) (Dudek, 1997).

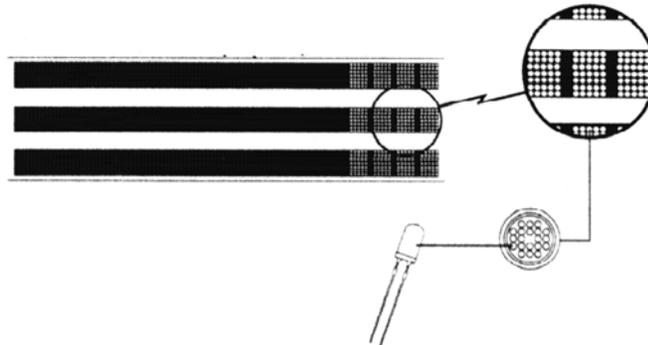
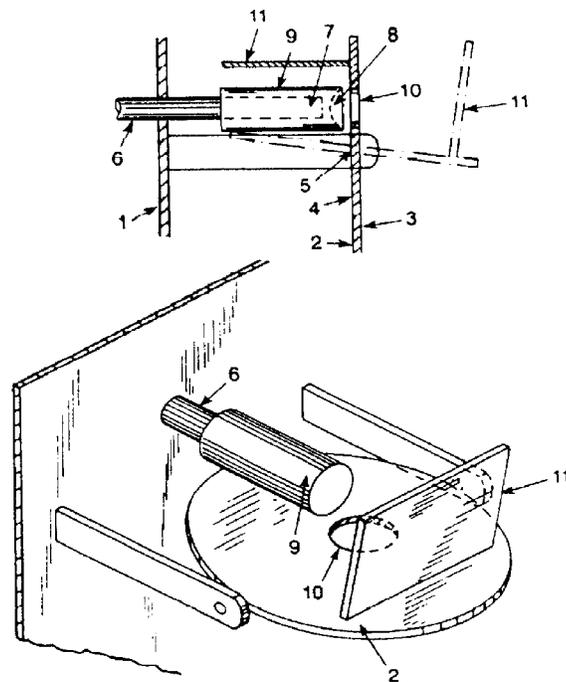


Figura 2.6 SMV de Diodo (LED)
(Fuente: Dudek, 1997)

3) SMV Híbridas.

Estas señales combinan la tecnología de los métodos anteriores. Los fabricantes han integrado fibra óptica o LED con la tecnología de las señales de matriz de disco circular reflejante. Cada fibra o foco se encuentra localizado en la parte posterior de un disco circular reflejante que cuenta con un orificio en el centro por donde la fibra emite luz (Fig. 2.7).



- | | |
|--|--------------------------|
| 1. Placa Trasera | 7. Empaque Fibra Óptica |
| 2. Disco Reflejante (lado oscuro: apagado) | 8. Lente de Fibra Óptica |
| 3. Disco Reflejante (lado reflejante: encendido) | 9. Casquillo de Soporte |
| 4. Disco | 10. Orificio |
| 5. Pivote | 11. Cubierta |
| 6. Cable de Fibra Óptica | |

Figura 2.7 SMV Híbrida.
(Fuente: Dudek, 1997)

2.3.2. Centro de control de un sistema de SMV.

No siendo el objeto de estudio de este trabajo un sistema completo de SMV sino más bien las SMV en sí, éste y los siguientes dos apartados presentan sólo una visión general de lo que serían un centro de control de tránsito, el equipo de monitoreo y la red de comunicación para un SMV.

El centro de control de las SMV forma parte de los centros de control de tránsito. Estos centros son el núcleo de los sistemas de manejo de transporte. Es aquí donde se concentra la información de la red de transporte y donde ésta se combina con otros datos operativos y de control para manejar la red de transporte y generar la información que se dará a conocer a los viajeros tanto locales como en tránsito.

Los centros de control de tránsito son también los lugares en donde se da a conocer a la prensa la información relativa al sistema de transporte y el sitio en

donde las diferentes agencias pueden agruparse para coordinar su respuesta a las diferentes condiciones del sistema de transporte.

Los centros de manejo de tránsito unen diferentes elementos de los sistemas inteligentes de transporte tales como las SMV, equipo de circuito cerrado de video, sistemas de proceso de imágenes, estaciones de conteo al lado de los caminos, etc., para ayudar a los tomadores de decisiones a identificar y reaccionar ante los incidentes de una manera rápida basados en información en tiempo real. (Sreedevi, 2001 -1).

Se ha observado que la operación de los centros de manejo de tránsito puede ayudar a reducir los tiempos de respuesta de los servicios de emergencia a incidentes, reducir las tasas de incidentes (principalmente los secundarios), difundir información a los viajeros y de esta forma reducir los congestionamientos y mejorar la seguridad. Aún cuando existe poca información respecto a los beneficios de los centros de control de tránsito, un estudio del Departamento de Transporte de Minesota reportó una reducción en la tasa de incidentes del 25%, una reducción de 20 minutos en el tiempo de respuesta de los servicios de emergencia, 35% de incremento en las velocidades promedio (que pasaron de 55 a 72 km/h) durante las horas pico y un 22% de aumento en la capacidad de las autopistas después de poner en operación su centro de manejo de tránsito. (Sreedevi, 2001-1).

Los beneficios de un centro de control de tránsito que se han identificado son:

- Una más rápida respuesta a los incidentes y reducción de la tasa de éstos.
- Al informar a los viajeros de las condiciones del tránsito y coordinando sus actividades con los autoridades de caminos, los centros de control de tránsito han logrado reducir los congestionamientos en autopistas y arterias.
- Por medio de una respuesta rápida y mejores técnicas para despejar la zonas afectadas por los incidentes, se ha mejorado la seguridad en los caminos. Al informar a los viajeros respecto a los incidentes de tránsito se han logrado reducir los incidentes secundarios.
- Se han logrado ahorros al compartir responsabilidades entre menos empleados al ubicar a todas las agencias involucradas en el manejo de transporte en una sola instalación.
- Al estar juntas las diferentes agencias, las respuestas a los diferentes situaciones se han vuelto más consistentes, aumentando la efectividad de los recursos destinados al transporte.

Los costos de un centro de control de tránsito dependen del tamaño y las funciones que se les asignen y estos incluyen:

- Concepción, diseño e implantación de los centros de manejo de tránsito.

- Costos anuales de operación, incluyendo los costos de albergar a las diferentes agencias involucradas. Por ejemplo, el presupuesto anual del centro de control de tránsito de Seattle es de 1.4 millones de dólares, el de San Antonio va de 700,000 a 1 millón de dólares.

2.3.3. Equipo de monitoreo para un sistema de SMV.

El equipo de monitoreo de las condiciones de tránsito se encarga de recolectar información de flujos, velocidades y concentración en los diferentes arcos que formen la red de tránsito a monitorear. La recolección de la información puede hacerse por medio de detectores de arco de inducción incrustados en el pavimento, sistemas de detección de imágenes por medio de video, vehículos que actúan como detectores, telefonía inalámbrica u otro tipo de detectores.

Los detectores de arco están formados por uno o más arcos de cable incrustado en el pavimento y conectados a una caja de control y que conducen una señal de 10 a 200 KHz de frecuencia. Cuando un vehículo pasa o permanece sobre el arco, la inductancia del mismo se reduce, indicando la presencia de un vehículo. Los detectores de arco pueden dar información respecto al número de vehículos que pasan y el tiempo que permanecen sobre el detector.

La tecnología de los arcos de inducción ha sido la más utilizada en las últimas dos décadas ya que, además de medir el flujo y la ocupación, permiten estimar también las velocidades de los vehículos, mediante el uso de dos detectores de arco. También pueden usarse en controles de semáforos y para detectar incidentes o congestionamientos. Es una tecnología comúnmente usada en los Estados Unidos de América y en otras partes del mundo, que da buenos resultados tanto en condiciones de bajos como de altos volúmenes de tránsito y en diferentes condiciones de clima.

Sin embargo, los detectores de arcos de inducción tienen un alto costo durante su vida útil y en ocasiones la información que proporcionan no es confiable, debido a que son incorrectamente instalados. Tampoco son útiles cuando las condiciones del pavimento no son buenas, en estructuras como puentes o cuando cruzan vías del ferrocarril (Sreedevi, 2001-2).

Los sistemas de detección de imágenes por medio de video emplean tecnologías que permiten analizar de manera automática la información de tránsito que se captura con sistemas de circuito cerrado de televisión. Esta clase de sistemas pueden usarse para monitorear las condiciones del tránsito en autopistas, arterias e intersecciones, detectar incidentes y clasificar vehículos. Su principal ventaja radica en que pueden cubrir un área que incluya varios carriles con una sola cámara. Al detectar incidentes, puede identificarse el tipo de incidente, su gravedad y la clase de intervención necesaria para atenderlo. (Loukakos, 2000-1)

Debe distinguirse entre los sistemas de detección de imágenes por medio de video que pueden operar con poca o nula intervención de personal y los sistemas de

vigilancia que usan cámaras de circuito cerrado de televisión y la intervención humana para verificar incidentes o las condiciones del tránsito. Los sistemas de detección de imágenes están rápidamente ganando popularidad por sus ventajas.

Los vehículos que actúan como detectores al moverse en el flujo de tránsito y cuya posición se determina por medio de sistemas de posicionamiento global, lectores del número de placas, coordenadas de la posición de teléfonos celulares o llamadas de teléfonos celulares, permiten estimar los tiempos de viaje, detectar incidentes e informar de niveles de congestión a los centros de control de tránsito o a los conductores por medio de SMVs (Shaheen, 2000).

La telefonía móvil ha resultado otra forma efectiva de detectar incidentes y condiciones de operación de las redes de tránsito. En condiciones normales de operación, los conductores llaman a los centros de control de tránsito y reportan incidentes o condiciones de operación. Usados de manera automática, los proveedores del servicio de telefonía inalámbrica, capturan información de la posición de los usuarios y la reportan a los centros de control de tránsito cada cierto tiempo. De esta forma pueden conocerse de manera indirecta las condiciones de operación de la red. Aunque la detección automática no ha sido puesta en operación todavía, se están haciendo pruebas en algunos lugares. (Loukakos, 2000-2)

Otros detectores incluyen los magnetómetros, detectores de microondas, detectores ultrasónicos, detectores acústicos, detectores de luz infrarroja y detectores piezoeléctricos. Estos dispositivos pueden sustituir o complementar a los arcos de inducción. La mayoría de ellos se colocan a un lado del camino, son no intrusivos y no requieren de cortes en el pavimento o la circulación para su instalación (Loukakos, 2000-3).

2.3.4. Red de comunicación para un sistema de SMV.

La infraestructura de un sistema inteligente de transporte consiste de diferentes elementos para capturar, enviar y recibir información. Una buena red de comunicación será parte fundamental en el uso de las señales de mensajes variables. Entre las diferentes alternativas para redes de comunicación se cuentan tanto redes que utilizan cables como redes inalámbricas.

Las redes que utilizan cables son de: par trenzado de cobre, coaxial, fibra multimodal y de fibra óptica. Las que no utilizan cables son: de microonda digital, radio digital, celular y micro-celular. Se ha visto que el tipo de red que mejores características de transmisión y confiabilidad presentan son las redes de fibra óptica. Si embargo, el decidir instalarla requiere de estudios cuidadosos que justifiquen su uso. Las redes inalámbricas se usan en zonas en las que resultaría oneroso llevar a cabo la instalación de redes alámbricas.

2.4. Aplicaciones de las SMV en los Estados Unidos de América y en el resto del mundo.

Las SMV se utilizan en una diversidad de lugares en el mundo. El apéndice de este trabajo muestra el uso de una clase particular de SMV, los Tableros Electrónicos de Mensajes Variables. Se divide el apéndice en los sitios en que se tienen instalados en los EUA y en los que se encuentran instalados en Europa.

En el caso de México, este tipo de tableros se empiezan a usar en áreas metropolitanas como las de la Ciudad de México o la Zona Metropolitana de Monterrey. En la Ciudad de México, ya se cuenta con paneles con SMV instalados en las principales vialidades como el Periférico o el Viaducto Miguel Alemán. Las normas para la instalación y uso de las señales dinámicas en la Ciudad de México han quedado ya incluidas en el “Manual de Dispositivos para el Control de Tránsito en Áreas Urbanas y Suburbanas”, publicado el 11 de diciembre de 2001 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal.

El “Manual de Dispositivos para el Control de Tránsito en Áreas Urbanas y Suburbanas” clasifica las señales dinámicas en tres tipos: señales dinámicas para regular el uso de carriles, señales dinámicas para el control del límite de velocidad y señales dinámicas para información general. En el manual se describen las especificaciones que deberán cumplir este tipo de señales en cuanto a características, fabricación, colocación e instalación y su adecuación al contexto urbano.

El efecto de las SMV en los conductores de la Ciudad de México no ha sido todavía evaluado y se estima sólo de manera subjetiva que ese efecto ha sido positivo, en particular cuando se advierte de congestionamientos o rutas alternas cuando ocurren manifestaciones.

Por lo que respecta a la Zona Metropolitana de Monterrey, se cuenta con tableros electrónicos de SMV, de 5 líneas y 15 caracteres por línea, instalados en 20 puntos diferentes de la red vial. La instalación de los tableros se concluyó en noviembre del 2000 y su puesta en funcionamiento, como parte del sistema de manejo de tránsito, inició a principios del 2002. Los mensajes que los tableros muestran responden, de manera automática, a las condiciones de operación de la red de tránsito en un área adyacente a la señal y son tomados de una biblioteca de mensajes predefinidos. También pueden enviarse mensajes determinados por los operadores del sistema de manejo de tránsito. La mayor parte del tiempo, las señales muestran mensajes de educación vial y sólo bajo condiciones especiales, hacen uso de los mensajes de la biblioteca o de los determinados por los operadores.

Al igual que en la Ciudad de México, no se ha llevado a cabo una evaluación del efecto de las SMV en los conductores, aunque se estima que son atendidas por la mayoría de los conductores que las observan.

La ciudad de León Gto., está contemplando la compra, en el 2002, de dos tableros electrónicos con SMV fijos. Los tableros se instalarían en el Blvd. Adolfo López Mateos, avenida principal de la ciudad y servirían para proporcionar información de tránsito a los conductores.

En cuanto al uso de tableros electrónicos de SMV en carreteras de nuestro país, Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos (CAPUFE), la principal entidad operadora de las carreteras de cuota en México, no cuenta aún con señales de mensajes variables fijas para informar acerca de las condiciones de tránsito en las carreteras de su jurisdicción. Sin embargo, aún cuando no se han definido las características de las señales que utilizarían, está considerando seriamente su utilización. Su preocupación es también definir adecuadamente la ubicación que las señales tendrían; su localización antes de los puntos negros o en lugares en donde existan rutas alternas pueden ser los candidatos más viables para su instalación.

Respecto al uso de señales de mensajes variables portátiles, CAPUFE cuenta con un buen número de señales (dos por delegación), pero éstas se usan solamente en los sitios en donde se cuenta con información anticipada respecto a mantenimiento de carreteras. Su uso en lugares en donde han ocurrido accidentes se ha visto limitado ya que, generalmente, la señal es llevada al lugar después de que se ha despejado la carretera.

3. Uso de y respuesta a las Señales de Mensajes Variables.

En este capítulo se describen los diferentes usos que se le han dado a las señales de mensajes variables. Se describen también cuál ha sido la respuesta de los conductores a la puesta en operación de este tipo de señales en diversos sitios del mundo.

3.1. Usos de las señales de mensajes variables.

Las Señales de Mensajes Variables (SMV) tienen, como se muestra en el siguiente cuadro, diversas aplicaciones dependiendo de la escala a la que pretendan usarse.

Cuadro 3.1. Aplicaciones de las SMV

Nivel de Aplicación de los TEMV	Ejemplos	Justificación
Basada en un Punto	- Guía en Estacionamientos	Se utilizan para mejorar la eficiencia del uso de estacionamientos, reducir congestionamientos en áreas aledañas, reducir el tiempo de búsqueda por espacios en estacionamientos y hacer el área más atractiva a los visitantes.
Basada en un Arco (sección de una carretera)	- Advertencia de congestionamientos - Advertencia de condiciones climáticas peligrosas - Aviso de incidentes - Desviaciones por obras - Aviso de velocidades límite	Hacen los viajes más seguros. Reducen el tiempo de viaje y mejoran la operación de las carreteras.
Basada en un corredor	- Manejo de incidentes - Señalización de rutas y desviaciones en corredores cuando existen caminos paralelos o interconectados	Ayudan a reducir los accidentes secundarios. Reducen el tiempo de viaje y mejoran la operación de corredores.
Basada en una región	- Manejo de incidentes - Control de patrones de viaje	Se utilizan para manejar la demanda de viajes en una región y mejorar las condiciones de tránsito para toda el área.

- Señalización de rutas en zonas metropolitanas

Fuente: Wei, 1998.

De los diferentes usos mencionados en el cuadro 3.1, los más comunes han sido los basados en un arco o en un corredor. La información que proporcionan acerca de los congestionamientos e incidentes resulta la más útil para los conductores. La advertencia sobre condiciones climatológicas adversas, resulta particularmente práctica en lugares de alta propensión a la formación de neblina o de hielo en las caminos. La advertencia de la presencia de neblina es una aplicación que podría ponerse en práctica de manera inmediata en México. Existen carreteras como la de Saltillo a Monterrey que podrían beneficiarse con la aplicación de esta clase de señales.

3.2. Respuesta de los Conductores.

Se han conducido diferentes estudios para determinar la respuesta de los conductores a las SMV, desde estudios para observar directamente en campo la respuesta de éstos, hasta ejercicios de simulación en laboratorios, pasando por la aplicación de encuestas. De los diferentes estudios realizados, puede decirse lo siguiente:

En París se utilizaron detectores de circuito para medir el efecto de la utilización de las SMV en los flujos de vehículos pasando por un punto, encontrándose que el uso de SMV puede modificar sustancialmente los patrones de circulación de los vehículos, de manera especial durante periodos de congestionamientos. Los conductores responden de manera más efectiva a los mensajes mostrados en los tableros durante las horas pico de la mañana que durante la tarde, seguramente por que están más preocupados por llegar a tiempo a su trabajo. También se observó que entre mayor es la longitud de las colas indicada en los tableros, mayor es el porcentaje de conductores que cambian de ruta (Wei, 1998).

Al aplicarse una encuesta en Finlandia para conocer qué tanto recordaban los conductores de los mensajes mostrados en los TEMV, los conductores encuestados manifestaron que los mensajes mostrados en los tableros eran más fácilmente recordados que aquellos de señales fijas. El 91% declaró recordar los límites de velocidad indicados, el 66% la señal de camino resbaladizo y el 34% la temperatura mostrada. Lo anterior muestra que una señal que cambia llama más la atención de los conductores y que éstos prestan atención a la señal dependiendo del grado de importancia que le conceden a la categoría del mensaje mostrado.

Una encuesta realizada en el Estado de Virginia, en los Estados Unidos, mostró que las actitudes de los conductores respecto a los TEMV no están significativamente correlacionadas con variables demográficas tales como edad educación, ingreso o sexo. De los conductores encuestados, la mitad de ellos

manifestó verse frecuentemente influenciados por la información mostrada en las SMV, dos quintas partes sólo ocasionalmente y el resto nunca; una tercera parte de los conductores señaló que la información mostrada era imprecisa o no actualizada con la frecuencia requerida; tres quintas partes de los conductores se manifestaron dispuestos a seguir las rutas propuestas en los tableros; un 97 por ciento apreció el mostrar mensajes como el de "accidente adelante"; para la mitad resultó útil indicar el tiempo de retraso estimado y a dos terceras partes de los conductores les agradó el mostrar mensajes de seguridad como "maneje en forma defensiva".

Una evaluación del proyecto INFORMS del Departamento de Transporte de Nueva York mostró que el 96 por ciento de las personas encuestadas habían visto las SMV del sistema; que el 29 por ciento consideró los mensajes como muy útiles y el 46 por ciento como medianamente útiles; el 7 por ciento consideró la información como siempre precisa y el 56 por ciento como comúnmente precisa; el 45 por ciento informó haber cambiado de ruta en respuesta al mensaje del tablero electrónico y el 5 por ciento manifestó que la decisión de cambiar de ruta no se había visto afectada por este tipo de señal. En un incidente típico, del 5 al 10 por ciento de los conductores en INFORMS decidieron salir utilizando las rampas ubicadas antes del incidente, en respuesta a los tableros que indicaban la ocurrencia del incidente, aún cuando estos no recomendaran alguna ruta alterna. El porcentaje de conductores que modificaron su ruta se incrementó de manera directa con la capacidad de las rutas alternas.

Un estudio de la efectividad de las SMV en zonas de construcción y su prueba en siete lugares en las carreteras interestatales que cruzan el Estado de Virginia, mostró que usar mensajes dinámicos junto con equipo de radar es más efectivo que las señales estáticas para modificar la conducta de los conductores que circulan por este tipo de zonas. Al advertir en forma individual a los conductores acerca de la velocidad a la que estaban circulando, éstos se mostraron más dispuestos a disminuir su velocidad. Tanto la velocidad como su varianza pueden disminuirse en esta forma, incrementando así la seguridad en zonas de construcción.

Un estudio similar al anterior, hecho en el Dakota del Sur, indicó que el uso de tableros y radares para mostrar la velocidad de los vehículos sirve para reducir éstas en zonas de construcción. Las velocidades promedio fueron entre 6 y 8 km/hr menores después de la instalación de los tableros. Las velocidades de los vehículos moviéndose sobre el límite de velocidad, fueron reducidas significativamente y el número de vehículos con velocidades de 16 km/hr por encima del límite se redujo en un 40%. El uso de los tableros en forma combinada con los radares fue más efectivo que los radares solos. El uso de los radares solos mostró una reducción de 2 a 3 km/hr en las velocidades promedio y la reducción en el número de vehículos moviéndose con velocidades de 16 km/hr por encima del límite fue de sólo el 10%.

Una encuesta del Departamento de Transporte de Virginia mostró que la mayoría de los conductores locales prefieren conseguir información por medio del sistema telefónico de advertencia para viajar en el invierno. Los conductores de camiones en carreteras interestatales prefieren los radios de banda civil. Sin embargo, el 70% de los conductores locales y el 40% de los conductores de camiones consideraron las SMV como una importante fuente de información.

Al usar las SMV en Dallas, Texas, para eventos especiales, tales como encuentros deportivos o conciertos, del 71 al 85% de los conductores siguieron la ruta recomendada por los tableros. Las razones expresadas por los que no siguieron la ruta propuesta en los tableros fueron: 1) No haber visto o no entender el mensaje del tablero; 2) Condiciones de tránsito no satisfactorias en la ruta alterna propuesta; 3) No estar familiarizados con la ruta alterna propuesta o desconfiar de las señales en la nueva ruta; 4) Desconfianza en la información de los tableros electrónicos.

Los resultados de una encuesta hecha a residentes y conductores del área de Houston, Texas, respecto a la información de las SMV mostraron que el 73% consideraron que la información respecto a incidentes y tiempos de viajes es útil, el 80% siente que la información sobre incidentes y tiempos de viaje es precisa, el 53% manifestó haber alterado sus rutas en respuesta a la información.

4. Señales de Mensajes Variables Portátiles .

En este capítulo se describe el uso de señales de mensajes variables portátiles (SMVP), las cuales tendrían un uso particularmente útil en zonas de construcción o mantenimiento.

4.1. Introducción.

Cuando la operación normal de un camino es suspendida, se debe planear el uso de controles de tránsito temporales para lograr la continuidad del flujo de automóviles, bicicletas y peatones, transporte público y accesos a las fincas o instalaciones. El papel principal de los controles de tránsito temporales es colaborar en el movimiento seguro y eficiente de vehículos, ciclistas y peatones por y alrededor la zona que usa los controles temporales de tránsito. La misma importancia tiene la seguridad de los trabajadores que laboran en la zona sujeta a controles temporales de tránsito. Los controles de tránsito temporales deben compensar las condiciones inesperadas o inusuales que los conductores enfrentan.

4.2. Señales de Mensajes variables portátiles.

El Manual de Dispositivos Uniformes de Control de Tránsito (MDUCT-DOT, (<http://mutcd.fhwa.dot.gov>)) señala que las SMVP son dispositivos temporales de control de tránsito con la flexibilidad de poder mostrar una serie de mensajes. Cada mensaje consiste de una o dos fases. Típicamente una fase consiste de hasta tres líneas de ocho caracteres por línea. Esta clase de señales son usadas más frecuentemente en autopistas urbanas de alta densidad, pero tienen aplicaciones para todo tipo de carreteras donde el alineamiento de la carretera, problemas para encontrar rutas o otras condiciones requieren de advertencias o información. Los componentes de una señal de mensajes variables portátil incluyen: una pantalla para presentar los mensajes, sistemas de control, una fuente de poder y equipo para montaje y transporte de la señal.

El mismo manual incluye las siguientes recomendaciones para las SMVP:

- La cara frontal de la señal deberá estar cubierta con material protector. El color de los elementos deberá ser ambar o naranja sobre un fondo oscuro.
- Las señales de mensajes variables deben de ser visibles a una distancia de 0.8 Km en condiciones de iluminación de día o de noche y debe de ser posible leer el mensaje desde una distancia de 200 m. La pantalla de la señal debe tener diferentes velocidades para mostrar el mensaje, de forma tal que el mensaje se pueda leer por lo menos dos veces a la velocidad límite indicada o la velocidad de operación, cualquiera que sea mayor.

- La pantalla de la señal puede variar en tamaño y para mantener su legibilidad, las señales de mensajes variables portátiles deberán automáticamente ajustar su brillantez bajo condiciones de iluminación cambiantes.
- El sistema de control deberá incluir una pantalla para revisar los mensajes antes de mostrarlos en la pantalla de la señal. Este sistema deberá contar con memoria que almacene los mensajes en caso de cortes de energía.
- Las señales de mensajes variables portátiles deberán estar equipadas con sistemas de batería de respaldo para que la operación de la señal continúe aún en los casos de que falle la fuente primaria de poder.
- El montaje de la señal de mensajes variables deberá ser tal que la parte baja de la pantalla esté a un mínimo de 2.1 m sobre el nivel del camino, cuando la señal esté en operación.
- El texto de los mensajes no deberá moverse vertical u horizontalmente a lo largo de la pantalla.
- Las señales de mensajes variables portátiles deberán usarse como suplemento y no como sustituto de las señales convencionales o en el pavimento.
- Las señales de mensajes variables tienen una gran variedad de usos en zonas con controles temporales de tránsito incluyendo: cierres de caminos, carriles o rampas, manejo de emergencias o accidentes, información acerca del ancho de los carriles, reducciones de velocidad, aviso de horarios de trabajo, manejo de usuarios del camino y desviaciones, advertencia de condiciones adversas y control de la operación. El propósito principal de las SMVP en zonas con control temporal de tránsito es advertir a los usuarios de condiciones inesperadas.

Algunas aplicaciones típicas de las SMVP incluyen las siguientes:

- Sitios en donde se espera que la velocidad de los vehículos automotores se reduzca significativamente.
- Sitios en donde se espere que se formen colas y haya retrasos significativos.
- Sitios en donde existan condiciones del medio ambiente adversas.
- Sitios en donde haya cambios de alineamiento o superficie.
- Para advertir de cierres de rampas, carriles o caminos.
- Para el manejo de accidentes o incidentes.
- Cambios en el patrón de uso del camino.

Cuando las SMVP se usen para indicar desviaciones, se deberán colocar suficientemente antes de la desviación para permitir a los conductores la

oportunidad de dejar la carretera bajo construcción o mantenimiento. La señal deberá colocarse en un sitio que permita su lectura. Si se usa más de una señal, éstas deberán colocarse en el mismo lado del camino.

Las SMVP deberán colocarse en el acotamiento del camino o lo más alejado del carril de circulación. Cuando las SMVP no estén en uso deberán retirarse, y si no se retiran deberán cubrirse. Si las dos opciones anteriores no son posibles, deberá delinearse la posición de la SMVP con dispositivos de control de tránsito temporales que reflejen la luz.

Los mensajes mostrados en las SMVP deben tomar en cuenta los siguientes factores:

- A. Cada fase debe mostrar sólo una idea.
- B. Si el mensaje puede mostrarse en una sola fase, la línea superior deberá mostrar el problema, la línea central deberá mostrar la ubicación o distancia y la línea inferior deberá mostrar la acción recomendada al conductor.
- C. El mensaje debe de ser tan corto como sea posible.
- D. Cuando el mensaje ocupe más de dos fases, se deberán usar señales de mensajes variables portátiles adicionales.
- E. Cuando se usen abreviaturas, éstas deberán ser entendidas fácilmente.

5. Beneficios y Costos de las Señales de Mensajes Variables.

En este capítulo se describen los beneficios y costos asociados a las Señales de Mensajes Variables (SMV), en particular la información incluida se refiere a los Tableros Electrónicos de Mensajes Variables (TEMV). Aún cuando los beneficios pueden ser identificados claramente, su evaluación resulta complicada ya que habrá que hacer diversas consideraciones. Los costos, en cambio, serán más fácilmente evaluables y dependerán del grado de complejidad que se desee para el sistema de SMV.

5.1. Beneficios.

Los beneficios del uso de los TEMV pueden ser:

1. Mejoras en la selección de rutas, ahorros en tiempos y distancias totales recorridos.
2. Reducción de congestionamientos en las horas pico.
3. Mejoras en la selección de rutas al ocurrir incidentes y reducción en los costos de accidentes.
4. Reducción de efectos al medio ambiente por una menor contaminación de aire.
5. Reducción en el consumo de energía.

La medición de estos beneficios para dos proyectos específicos arroja los siguientes resultados (Wei, 1998):

La reducción anual en retrasos por el uso de TEMV para el proyecto INFORMS fue de 1,900 horas vehículo para el caso de incidentes durante las horas pico y 300,000 horas vehículo para los efectos relacionados con incidentes.

El uso de TEMV para estacionamientos en Leicestershire, Inglaterra ha conducido a un mejor aprovechamiento de los espacios disponibles, lográndose que la demanda por lugares en los estacionamientos incluidos en el sistema de control de tránsito de la ciudad se distribuya más uniformemente.

5.2. Costos.

Como cualquier proyecto en el área de sistemas inteligentes de transporte, el costo de un sistema de TEMV depende de su propósito, escala y la tecnología a usar en el sistema. Los costos se relacionan con los costos de adquisición e instalación, su vida útil, costos de operación, mantenimiento y la tecnología usada. No hay que olvidar que un sistema de TEMV puede ser parte de un sistema de

control de tránsito más complejo y que los costos aquí indicados reflejan sólo la parte correspondiente a los tableros y sus componentes.

La tabla 5.1 muestra los resultados de un estudio económico realizado en el año de 1991 por la Universidad Estatal de Arizona para el Departamento de Transporte del mismo estado. El estudio comparó dos tecnologías diferentes, fibra óptica y diodos de emisión de luz (LED por sus siglas en inglés).

**Tabla 5.1 Costo Anual para Señales de Fibra Óptica y LED.
(Dólares de Estados Unidos de América).**

Concepto	Fibra óptica	LED
Costo Inicial	118,303	141,437
Interés Anual Correspondiente al Costo Inicial	19,204	23,018
Costo Anual de la Energía	386	3,810
Costo Relativo Anual de Mantenimiento	576	0
Costo Anual de Operación (Incluye energía y mantenimiento).	962	3810
Costo Total Anual (Incluye interés anual mas costos de operación).	20,166	26,828

Fuente: Wei, 1998.

Notas.

1. El costo inicial incluye el costo de compra e instalación de las señales. Se usaron precios de finales de 1990 y principios de 1991.
2. El costo anual de la energía se basó en la tecnología de las señales, el tamaño de los mensajes y el tiempo que se muestran. Se supuso que la señal estaba encendida durante cuatro horas al día (una hora en la noche y tres horas durante el día). El mensaje común era de 30 caracteres y el costo de la energía se supuso de 10 centavos de dólar por kilowatt-hora.
3. Requerimientos de mantenimiento: reemplazo y reparación de las partes. Se asumió que los diodos de emisión de luz tienen una vida útil de 100,000 horas y que las lámparas de fibra óptica de 6,000 horas.
4. Costo anual por intereses. Se asumió una tasa de interés anual del 10 por ciento y una duración del proyecto de 10 años. El valor de rescate es cero.

Otro estudio, realizado por el Ministerio de Transporte de Ontario comparó, en 1989, los costos de operación y mantenimiento de diferentes tecnologías de TEMV. Los resultados se presentan en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2 Costos Anuales de Operación y Mantenimiento para Señales de Mensajes Variables para el Ministerio de Transporte de Ontario (1989, dólares de Estados Unidos de América).

Tecnología	Energía	Mantenimiento Rutinario	Mantenimiento de Emergencia	Costo Total
LED	760	8,620	4,200	13,580
Fibra óptica/ Disco reflejante	280	6,780	4,400	11,460
Fibra óptica	820	10,450	5,020	16,290
Disco reflejante	640	12,820	4,200	17,660
Lámpara Incandescente	5,000	19,630	3,000	27,630

Fuente: Dudek, 1992 citado en Wei, 1998.

Los costos arriba mencionados son para un TEMV. Por lo que respecta al costo de un sistema completo, se cuenta con información del Estado de Virginia, el sistema INFORMS en Nueva York y el sistema de identificación automática de vehículos en Houston (Wei, 1998).

El caso del Estado de Virginia, el costo del equipo para 104 TEMV y 36 unidades para el sistema de Advertencia en Carreteras vía Radio se estimó en 13 millones de dólares (1996). El costo inicial de un TEMV fue de alrededor de 100,000 dólares y el de la unidad para el sistema de Advertencia de Carreteras vía Radio de 20,000 dólares. En el sistema INFORMS, el costo de la instalación de los TEMV fue de 6,341,000 dólares. Para 1992, el costo total anual de operación fue de 4,497,000 dólares. En el caso de la instalación de los TEMV en Houston (1996), estos tuvieron un costo de 18,500 a 25,000 dólares por km y se tardó 6 meses en instalarlos.

6. Conclusiones.

Este trabajo ha presentado una revisión de las SMV. Se ha descrito como forman parte de los diversos equipos para proporcionar información a los viajeros en los Sistemas Inteligentes de Transporte. Se han descrito los diferentes componentes que formarían un sistema de señales de mensajes variables y el uso de las señales portátiles, que tienen como principal aplicación las zonas de construcción. Se ha mencionado cuáles serían los beneficios que se han identificado por el uso de las SMV y los diversos costos asociados a la instalación y operación de las SMV.

Entre las conclusiones más relevantes puede anotarse que las SMV:

- Son un medio de información de tránsito que puede ayudar a resolver los problemas de congestionamiento.
- Su uso es particularmente útil en situaciones cambiantes o de emergencia.
- Pueden ayudar a evitar accidentes, particularmente los secundarios.
- En el caso de un sistema de señales fijas, el alto costo requiere la justificación adecuada de su propuesta de instalación. Las señales portátiles pueden ser un valioso dispositivo de control de tránsito, que usado correctamente ayuda a aliviar situaciones de emergencia en carreteras que no cuentan con sistemas de señales fijas. También resultan especialmente útiles en zonas de construcción. México puede continuar ampliando el uso de las SMV, pero habrá que evaluar adecuadamente los sistemas de control de tránsito en los que se utilizarán.

7. Apéndice. Sistemas de Tableros Electrónicos de Mensajes Variables en Operación.

**Cuadro A1.
Sistemas Instalados en los Estados Unidos de América.**

Proyecto de TEMV o Entidad	Descripción
Anaheim, California.	El Sistema de TEMV informa las condiciones de red de caminos local y estacionamientos en el área próxima a Disneylandia.
Santa Anna, California.	Se tienen instalados 16 TEMV ubicados entre 180 y 240 metros antes de los puntos de decisión del sistema de arterias. Los TEMV informan acerca de las condiciones de tránsito en las carreteras que se conectan con las arterias. Pueden usarse para el manejo de congestionamientos o incidentes.
Filadelfia, Departamento de Transporte de Pensilvania.	El Departamento de Transporte de Pensilvania opera los TEMV en el tramo de la Interestatal 95 que pasa por el estado.
Charlotte, Departamento de Transporte de Carolina del Norte.	Se tienen instalados TEMV permanentes en la ciudad de Charlotte. Algunos de ellos pueden ser operados tanto por la ciudad como por el departamento de transporte.
Departamentos de Transporte de Maine y Michigan.	Los TEMV se usan junto con radares para controlar la velocidad en zonas de construcción.
Austin, Dallas y El Paso, Departamento de Transporte de Texas.	El departamento de transporte del estado permite a cada distrito operar sus propios TEMV.
Norte de Houston, Departamento de Transporte de Texas.	Los TEMV son parte del sistema de identificación automática de vehículos y cobro electrónico de peajes y manejo de tránsito, que se usa para dar información en tiempo real de la I- 45, la US-59 y la Carretera de cuota Hardy. 200 conductores habituales del área de Houston fueron equipados con teléfonos celulares a cambio de informar de las condiciones del tránsito cuando pasan por lugares predeterminados. Los TEMV pueden mostrar información de incidentes camino abajo o recomendar rutas alternas cuando los retrasos exceden los 10 minutos.
Departamento de Transporte de Dakota de Sur.	Se usa un TEMV portátil para mostrar la velocidad de los vehículos, medida por medio de radar, en zonas de construcción.

**Cuadro A1.
Sistemas Instalados en los Estados Unidos de América. (Continuación)**

Proyecto de TEMV o Entidad	Descripción
Arlington, Departamento de Transporte de Virginia.	Se tienen instalados 60 TEMV permanentes en las interestatales 66, 95 y 395 y el anillo periférico de la capital. Se cuenta también con 40 tableros portátiles para su uso en las interestatales o arterias. Los TEMV pueden mostrar información acerca de las condiciones de tránsito, instrucciones para el uso de carriles de alta ocupación y señales para rutas alternas. La fuente de información son los detectores de circuito y 40 cámaras de circuito cerrado de televisión
Área Metropolitana de Phoenix, Departamento de Transporte de Arizona.	Se tienen instalados 49 TEMV en los primeros 80 km del sistema de TEMV que al concluirse cubrirá 158 km de autopistas urbanas en la Área Metropolitana de Phoenix.
Suffolk, Departamento de Transporte de Virginia.	Un contratista privado emplea a 28 personas para operar los TEMV.
Parte norte de Virginia, Departamento de Transporte de Virginia.	Se cuenta con un centro de control que opera las 24 horas al día, bajo la supervisión del Departamento de Transporte, 100 TEMV, 60 de los cuales pueden usarse para dar información a los conductores.
Norte y sur de Nueva Jersey, Departamento de Transporte.	El Centro de Operaciones del Departamento de Transporte del Norte de Nueva Jersey planea operar, desde un solo lugar, un sistema de 34 TEMV permanentes en la carretera I-80. El Centro de operaciones del Departamento de Transporte del Sur de Nueva Jersey opera dos TEMV permanentes.
Maryland.	Maryland opera TEMV permanentes desde dos sistemas de manejo de tránsito en Baltimore y Washington (5 A.M. a las 9 P.M.) y sus centro de operaciones estatal a otras horas del día.
Autoridad de los Caminos de Cuota de Illinois.	Operan 7 TEMV permanentes desde una estación central. Se piensa aumentar a 15 tableros instalados en los 443 km de la carretera de cuota.
INFORM, Departamento de Transporte de Nueva York.	INFORM es un sistema de manejo de tránsito diseñado para mejorar el uso de 64 km de carreteras en Long Island, Nueva York. Se tienen instalados 72 TEMV que dan información acerca de congestionamientos, retrasos y rutas alternas. Se cuenta con microcomputadoras, a un lado del camino para controlar los tableros, las cuales son supervisadas por una minicomputadora a nivel central

Fuente: Wei, 1998.

**Cuadro A2.
Sistemas Instalados en Europa.**

Proyecto de TEMV o Entidad	Descripción
Tapiola, Inglaterra.	El sistema de orientación en estacionamientos tiene las siguientes partes: Aforadores de Tránsito, Contadores de Espacios en Estacionamientos, Computadora Central y TEMV.
Leicester, Inglaterra.	Por medio de contadores electrónicos instalados en los nueve estacionamientos públicos más grandes, se recoge información acerca de su ocupación. La información se transmite al sistema de computo del Control de Tránsito Urbano. El sistema analiza la información y transmite instrucciones a los 35 TEMV.
Costa sur de Finlandia.	Se tienen instalados 36 TEMV que especifican los límites de velocidad y 5 para información general en 14 km de carretera. Los tableros con información general pueden mostrar 3 diferentes mensajes: superficie resbaladiza, condiciones peligrosas camino abajo y construcción camino abajo.
SIRIUS, París.	SIRIUS da información de tránsito en tiempo real vía los TEMV operados desde centros regionales de manejo de tránsito. Se tienen instalados 5000 detectores de circuito en la red de tránsito en y alrededor del Este de París.
Corredor Kent SMTS, Inglaterra.	Se tienen instalados 70 TEMV en las aproximaciones a intersecciones clave de la red de tránsito. El sistema de TEMV permite la rápida y eficiente diversión del tránsito cuando ocurren accidentes o congestionamientos.
Envolvente Birmingham-Nottingham-M25, Inglaterra.	Se instalaron 68 TEMV en la primavera de 1996.
DRIPS, Holanda.	Se tienen instalados 4 TEMV en las carreteras A1, A2, A4 y A8 que llevan al periférico alrededor de Amsterdam. DRIPS (Sistema de Tableros Dinámicos de Información de Rutas) muestra información acerca de las condiciones de operación de la carretera A10.
TRAFIX, Dinamarca.	Se tienen instalados 14 TEMV en los caminos principales para buscar una mejor distribución del tránsito en dos arcos (un puente y un túnel) que conectan Aalborg con Norresbundy en la parte norte de Limfjorden.
QUO VADIS, Escocia y Dinamarca.	El sitio de prueba en Escocia se extiende de Perth en el norte a Stirling en el Oeste y Kinross en el este y Glasgow y Edinburgo en el sur. Se cuenta con 20 estaciones de detección mayores y 20 TEMV.

Fuente: Wei, 1998.

8. Referencias.

Dudek, Conrad L. "Changeable message signs". *National Cooperative Highway Research Program: Synthesis, No. 237*. National Academy Press. Washington, D.C., U.S.A. 1997.

Federal Highway Administration. "Manual on Uniform Traffic Control Devices: Millenium Edition" (<http://mutcd.fhwa.dot.gov>). Diciembre 2000.

Loukakos, Dimitri. "Video Image Detection Systems". (2000-1).
http://www.path.berkeley.edu/~leap/TTM/Incident_Manage/Detection/vids.html.
Consultado en agosto de 2001.

Loukakos, Dimitri. "Wireless Phones". (2000-2).
http://www.path.berkeley.edu/~leap/TTM/Incident_Manage/Detection/wireless_surveillance.html. Consultado en agosto de 2001.

Loukakos, Dimitri. "Other Detectors". (2000-3).
http://www.path.berkeley.edu/~leap/TTM/Incident_Manage/Detection/other_surveillance.html. Consultado en agosto de 2001.

Shaheen, Susan. "Probe Vehicle Surveillance"
http://www.path.berkeley.edu/%7Eleap/TTM/Traffic_Control/probe_glance.html.
Consultado en agosto de 2001. (2000).

Sreedevi, Indu. "Traffic Management Centers".
http://www.path.berkeley.edu/~leap/TTM/Traffic_Control/tmc_body.html.
Consultado en agosto de 2001. (2001-1).

Sreedevi, Indu. "Loop Detectors".
http://www.path.berkeley.edu/~leap/TTM/Incident_Manage/Detection/loops.html
Consultado en agosto de 2001. (2001-2).

Wanat, J. "Highway Advisory Radio" ITS Decision Report. Path Program.
http://www.path.berkeley.edu/~leap/travelerinfo/Driver_Info/radio.html. Consultado en mayo del 2001.

Wei, W. B. "Variable Message Signs" ITS Decision Report. Path Program.
http://www.path.berkeley.edu/~leap/travelerinfo/Driver_Info/message.html.
Consultado en mayo del 2001.

**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