



TECNOLOGÍAS PARA EL COBRO ELECTRÓNICO DE CUOTAS EN CARRETERAS Y PUENTES

Secretaría de Comunicaciones y Transportes Instituto Mexicano del Transporte

CIUDAD DE MÉXICO

Av. Patriotismo 683 Col. Mixcoac 03730 México, D.F. Tels. 5598 3863 5598 5610 55985218 5598 5871 Fax 5598 6457

SANFANDILA

Km 4+000, Carretera Los Cues-Galindo 76700 P. Escobedo, Qro. Tels. (42) 16 97 77 16 96 46 16 95 97 Fax (42) 16 96 71 Internet http://www.imt.mx

Secretaría de Comunicaciones y Transportes Instituto Mexicano del Transporte

Tecnologías para el cobro electrónico de cuotas en carreteras y puentes

Publicación Técnica No. 159 Sanfandila, Qro 2000

Indice.

Αb	estract.	V
Re	esumen.	VI
Re	esumen ejecutivo.	IX
1.	Introducción.	1
	1.1. El cobro de cuotas en una carretera.1.2. Cobro Electrónico de Cuotas (CEC).1.3. Componentes de un sistema de cobro electrónico de cuotas.1.4. Resumen del trabajo.	2 2 3 3
2.	Sistemas de cobro electrónico de cuotas.	5
	 2.1. Sistemas de Cobro Electrónico de Cuotas 2.1.1. Identificación Automática de Vehículos (IAV). 2.1.1.1. Etiquetas de RF. 2.1.1.2. Etiquetas inteligentes de RF. 2.1.1.3. Tarjetas inteligentes con etiquetas de RF. 2.1.1.4. Estandarización. 2.1.2. Clasificación Automática de Vehículos (CAV). 2.1.3. Sistemas de Apoyo de Vídeo (SAV). 	5 6 7 8 9 9
	2.2. Aplicaciones.2.2.1. En el ámbito internacional.2.2.2. Aplicaciones en México.	17 17 19
3.	Aspectos técnicos y de diseño.	21
	 3.1. Aspectos técnicos. 3.1.1. Condiciones climatológicas. 3.1.2. Precisión del sistema. 3.1.3. Esquemas de cobro. 3.1.4. Sistemas de control contable. 	21 21 21 22 22
	3.2. Aspectos de diseño.3.2.1. Comunicación.3.2.2. Confiabilidad.3.2.3. Compatibilidad.3.2.4. Flexibilidad.3.2.5. Seguridad.	22 22 23 23 23 24
4.	Aspectos a considerar para la puesta en operación de un Sistema de Cobro Electrónico.	25
	4.1. Estandarización. 4.1.1. Estándares de un sistema de CEC.	25 25

	4.1.2. El sistema francés de estándares.4.1.3. Sistema japonés de estándares.4.1.4. Estándares en radio frecuencias.	27 28 28
	 4.2. Capacidad. 4.2.1. Capacidad de un carril de cobro. 4.2.2. Relación velocidad – capacidad. 4.2.3. Niveles esperados de participación en un sistema de 	29 30 31
	Cobro Electrónico de Cuotas. 4.2.4. Otras Preocupaciones.	31 32
	4.3. Requerimientos del Sistema.	33
5.	Aspectos diversos.	35
	5.1. Privacidad.	35
	5.2. Pruebas.	35
	5.3. Relaciones públicas.5.3.1. Mercadotecnia.5.3.2. Propaganda.	36 37 37
	5.4. Sistemas regionales de CEC.	37
6.	Operación de plazas de cuota.	39
	 6.1. Vigilancia. 6.1.1. Carriles de cobro con parada obligatoria. 6.1.2. Carriles de cobro sin parada obligada. 6.1.3. Clases de violaciones. 6.1.4. Sistemas de vigilancia de evasores. 6.1.4.1. Enfoques técnicos básicos. 	39 39 39 40 41 41
	6.2. Mantenimiento.	41
	6.3. Personal.6.3.1. Seguridad en el empleo.6.3.2. Seguridad al trabajar.6.3.3. Salud de los empleados.6.3.4. Entrenamiento.	41 42 42 42 42
	6.4. Seguridad en el manejo del efectivo.	43
	6.5. Operación de tráfico.	43
	6.6. Clasificación de vehículos.	43
7.	Beneficios y costos esperados para organismos operadores y usuarios.	45
	7.1. Costos de instalación de un carril con cobro electrónico	45
	7.2. Costo de cobrar las cuotas. 7.2.1. Costos por transacción.	47 47

	Indice
7.2.2. Etiquetas electrónicas.	47
7.2.3. Operación y mantenimiento.	48
7.3. Beneficios para organismos operadores.	49
7.4. Beneficios para el usuario de un camino de cuota.	50
8. Recomendaciones generales para el caso de México y	
conclusiones.	51
8.1. Recomendaciones generales para el caso de México.	51
8.2. Conclusiones.	52
REFERENCIAS.	53
Apéndice A. Sistemas de Cobro Electrónico en operación en los	
Estados Unidos de América.	55
Apéndice B. Sistemas de Cobro Electrónico en operación en México.	63

Indice de cuadros.

Cuadro 4.1 Comparación de casetas y capacidades	30
Cuadro 4.2 Velocidad promedio para diferentes clases de casetas	31
Cuadro 7.1. Costo del equipo por tipo de carril.	46
Cuadro 7.2. Costos de operación y mantenimiento por tipo de carril	48
Cuadro A1. Sistemas de cobro electrónico en los Estados Unidos de América	55
Cuadro A2. Participación en el mercado de identificación automática de vehículos por número de carriles instalados.	62
Cuadro A3. Participación en el mercado de integración de sistemas por número de carriles instalados.	62
Cuadro B1. Sistemas de cobro electrónico en México.	63

Abstract.

Electronic toll collection has been identified as the next necessary step for toll highways, particularly for those where congestion at toll plazas is an issue. Electronic toll collection can help reduce congestion by means of a faster tolling process. By using electronic toll collection, drivers do not need to stop their cars to pay for their tolls and the use of cash or tokens at tollbooths is not indispensable. Instead, tolls are debited electronically from the user's toll account. Drivers can pay their monthly bills by debiting their credit cards, sending a check by mail to the toll agency, authorizing an electronic transfer of funds or paying personally. Electronic toll collection can also reduce fuel consumption, reduce delay at toll plazas, and improve air quality.

The aim of this work is to describe the electronic toll collection systems and show that they can be a viable alternative for toll collection in Mexico. After an introduction to toll collection in Mexico, the work describes each of the components of electronic toll collection systems and lists the places where they have been successfully applied. The work goes beyond to show the different aspects of toll collection that should be considered if this kind of system is to be implemented. The work concludes by making some general recommendations for the Mexican case and presenting the conclusions.

Resumen.

El cobro electrónico de cuotas ha sido identificado como el siguiente paso para el cobro de peajes en las carreteras de cuota, particularmente en aquellas en las que los congestionamientos en las plazas de cobro son un problema. El cobro electrónico de cuotas puede ayudar a reducir los congestionamientos agilizando el cobro de los peajes. Al usar un sistema de cobro electrónico, los conductores no necesitan detener sus vehículos para pagar sus cuotas y el uso de efectivo o fichas en las casetas de cobro no es indispensable. En lugar del esquema de cobro tradicional, las cuotas se cargan electrónicamente a la cuenta que los usuarios mantienen con la entidad operadora. Los conductores pueden de esta forma pagar su cuenta mensual por medio de una tarjeta de crédito, mandando un cheque por correo a la agencia operadora, autorizando una transferencia electrónica de fondos o acudiendo personalmente a pagar su cuenta. El cobro electrónico de cuotas puede también reducir el consumo de combustible, retrasos en las plazas de cuota y mejorar la calidad del aire.

El propósito de este trabajo es describir los sistemas electrónicos de cuota y mostrar que pueden ser una alternativa viable para el cobro de cuotas en México. Después de presentar una introducción al cobro de cuotas en México, el trabajo describe cada uno de los componentes de un sistema de cobro electrónico y lista los lugares en donde estos sistemas están siendo utilizados. El trabajo va más allá para mostrar los diferentes aspectos del cobro electrónico que deben de ser considerados cuando se desea instalar un sistema de cobro electrónico. Finalmente, el trabajo presenta algunas recomendaciones generales para el caso de México y las conclusiones.

Resumen ejecutivo.

En México, la red federal de carreteras de cuota comprende 5,972 kilómetros operadas tanto por Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos (CAPUFE), como por empresas concesionarias. Por su parte, la red carretera estatal de carreteras de cuota cuenta 593 kilómetros operadas por concesionarios privados. El número de operaciones de cobro de cuotas efectuadas en estas carreteras es alto. CAPUFE reportó que en 1997, este número fue de 192 millones. Esta cifra refleja que aún pequeñas reducciones en el tiempo necesario para el cobro de las cuotas podrían significar ahorros importantes para el conjunto de usuarios de las carreteras o puentes de cuota. Además, los congestionamientos en las plazas de cuota son uno de los principales problemas que los usuarios de carreteras de peaje enfrentan. Los sistemas de cobro electrónico de cuotas, componente de los Sistemas Inteligentes de Transporte, han sido identificados como un elemento que puede ayudar a reducir el tiempo invertido en pagar las cuotas, reduciendo así los congestionamientos.

El principal objetivo de este trabajo es ampliar el conocimiento en México acerca de los sistemas de cobro electrónico de cuotas, sus beneficios y la tecnología asociada a estos. El trabajo revisa también otros aspectos relacionados con el diseño, puesta en marcha, costos, beneficios y operación de este tipo de sistemas.

Sistemas de Cobro Electrónico de Cuotas

Los sistemas de cobro electrónico de cuotas integran tecnologías de identificación automática a los sistemas de control de tráfico ya existentes para identificar a los vehículos con un código único cuando pasan por un sensor, aún a altas velocidades. El cobro electrónico de cuotas permite automatizar los procesos de pago, haciendo innecesario parar en las casetas de cuota o usar efectivo para cubrir el servicio.

Un sistema de cobro electrónico de cuotas permite que los procesos manuales de pago de peaje en una carretera se automaticen. El equipo de recolección electrónica puede colocarse en portales sobre la carretera o en el pavimento, permitiendo el cobro de cuotas cuando los vehículos se mueven a velocidades normales en las carreteras.

Los sistemas de cobro electrónico de cuotas consisten en forma básica de tres elementos funcionales: Un sistema de identificación automática de vehículos, un sistema de clasificación automática de vehículos y un sistema de apoyo de vídeo. Estos elementos conforman el equipo conocido como controladores de línea. Los sistemas de cobro electrónico de cuotas hacen uso también de equipo de computo para transmitir, procesar, analizar y guardar la información de las transacciones de pago de cuotas.

El sistema de identificación automática utiliza etiquetas para lectura por medio de un sistema láser o dispositivos de radio - frecuencia montados en los vehículos a fin de ser identificados de manera única por el equipo instalado en las plazas de cuota. Las tarjetas de radio frecuencia usadas en los sistemas de cobro electrónico pueden ser de lectura solamente, de lectura y escritura o utilizar tarjetas inteligentes con etiquetas de radio frecuencia. El sistema de clasificación utiliza diversos sensores en y alrededor del carril de circulación para determinar el tipo de vehículos, clasificándolos en categorías preestablecidas y determinando su respectiva tarifa. Los sistemas de apoyo de vídeo capturan imágenes, por medio de cámaras fotográficas o de video, de las placas de los vehículos que utilizan el servicio sin contar con una etiqueta valida para identificar a sus propietarios y requerirles el pago de las cuotas y multas asociadas.

Además de los equipos que conforman los controladores de línea, cada plaza, usualmente cuenta con una computadora local que almacena la información de las transacciones de los controladores de línea y las listas de etiquetas válidas. La computadora local se encuentra comunicada con una computadora central que almacena todos los datos de las distintas plazas para consolidarlos en un solo lugar.

Para el manejo de los estados de cuenta de los usuarios, venta de etiquetas de identificación, procesamiento de las imágenes de vídeo e información a los usuarios, se suele contar con un centro de servicio a clientes. Este centro recibe las transacciones de los equipos de pago de las casetas y las asigna a la cuenta del usuario correspondiente; también transmite a las computadoras de las plazas la lista de las etiquetas válidas, la cual será transmitida a los controladores de línea.

Un sistema de cobro electrónico de cuotas permite a las entidades operadoras de las plazas de cuota mejorar el servicio al usuario ya que agiliza el paso por éstas, eliminando la necesidad del usuario de detenerse, buscar el efectivo, bajar su ventana y efectuar el pago. Estos sistemas también proporcionan a los conductores la flexibilidad de pagar su cuenta periódicamente con efectivo, cheque, tarjetas de crédito e incluso mediante una transferencia electrónica de fondos. Los usuarios que usan tarjetas de crédito tienen la opción de que sus cargos sean registrados automáticamente en sus estados de cuenta por el uso del cobro electrónico de cuotas.

Aplicaciones.

En el ámbito internacional, los sistemas de cobro electrónico de cuotas se han aplicado en diversos estados de la unión americana, en Canadá, Inglaterra, Francia, Italia, Noruega, Portugal, España, Holanda, Suecia, Japón, Hong Kong, Malasia y Singapur.

En México, CAPUFE contrató, en abril de 1992, a la compañía Amtech para instalar un sistema de cobro electrónico de cuotas en las diferentes autopistas de cuota y puentes que tienen bajo su cargo. El sistema se instaló, inicialmente, en 134 casetas de cuota de 58 plazas. La puesta en operación comenzó a mediados

de 1992. Sin embargo, la contratación del sistema IAVE no ha sido extensa por parte de vehículos particulares debido a los requisitos necesarios para su contratación. El sistema IAVE es usado principalmente por autobuses de pasajeros en rutas regulares y por algunas compañías de transporte de carga.

Aspectos a considerar en la planeación y operación de un sistema de cobro electrónico de cuotas.

Los aspectos a considerar en la planeación de un sistema de cobro electrónico de Cuotas son: Aspectos técnicos, que incluyen conocer las condiciones del medio ambienten las que se instalará el sistema, precisión deseada, esquemas de cobro disponibles y sistemas de auditoria; aspectos de diseño como son las comunicaciones entre sus diferentes componentes, compatibilidad con equipos existentes y futuras tecnologías y la flexibilidad que este tipo de sistemas debe cumplir para su correcta puesta en operación; aspectos operativos como son la estandarización en los equipos usados en un sistema de cobro electrónico de cuotas, capacidad de los sistemas y los niveles de participación esperados.

De los aspectos arriba listados, destaca por su importancia la estandarización. Siendo la industria de la fabricación de equipo para el cobro electrónico de cuotas una industria relativamente nueva, existen un sinnúmero de proveedores de equipo, los cuales en su mayoría cuentan con patentes y protocolos de comunicación propios. Esto dificulta la compatibilidad del equipo y el usar componentes de diferentes marcas. Se espera que en un futuro próximo se establezcan estándares a los que deberán adherirse los fabricantes.

Otros Aspectos de un Sistema de Cobro Electrónico de Cuotas.

Otros aspectos relevantes a considerar en los sistemas de cobro electrónico de cuotas son: la posible invasión de la privacidad en la que estos sistemas pueden incurrir, lo cual puede provocar desconfianza por parte de los usuarios; el uso de periodos de prueba de los equipos e instalaciones. Esto ayudará a corregir fallas en el funcionamiento del equipo antes de que empiece a operar en una escala completa; el manejo de las relaciones públicas usando adecuadamente la mercadotecnia y la propaganda para atraer a nuevos usuarios y; el establecimiento de sistemas regionales de cobro electrónico, los cuales permitirán que los usuarios puedan transitar por diferentes carreteras o puentes de cuota sin necesidad de contar con una etiqueta electrónica para cada una de las carreteras o puentes.

Operación de un sistema de cobro electrónico en una plaza de cuota.

Las funciones requeridas para la operación de un sistema de cobro electrónico en una plaza de cuota son: vigilancia, mantenimiento, personal, operaciones de tráfico y clasificación de vehículos.

La vigilancia se requerirá para tratar de reducir al mínimo el número de usuarios que eviten el pago de las cuotas. Por lo que respecta al mantenimiento, un

sistema de cobro electrónico puede programarse para que informe automáticamente cuando se requiera revisión o mantenimiento del equipo. Existen programas de computo que pueden realizar un diagnóstico o verificar que el sistema opere correctamente.

En cuanto al personal, las áreas que preocuparán a los empleados incluyen seguridad en el empleo, que puede verse amenazada por la introducción del cobro electrónico, seguridad al trabajar, ya que habrá vehículos circulando a altas velocidades, salud por estar expuesto a equipos que operan con ondas de radiofrecuencia y entrenamiento en el uso de los nuevos equipos.

Por otro lado, cuando el número de usuarios de un sistema de cobro electrónico aumenta, se reduce el manejo de efectivo en las plazas de cobro. Con esta disminución del manejo de efectivo aumentará la seguridad en la plaza.

Las entidades operadoras de las carreteras de cuota tendrán que evaluar los impactos de los sistemas de cobro electrónico en la seguridad del tráfico. El entendimiento del uso del sistema es una preocupación mayor para la seguridad del tráfico. Los conductores que no entienden como usar el sistema ponen en peligro tanto a ellos mismos como a los operadores de las plazas de cobro. El conocimiento de la configuración y operación de una plaza de cobro muestra la importancia de los sistemas regionales.

Costos de un sistema de cobro electrónico.

Cuando se diseña un sistema de cobro electrónico, es importante estimar los costos y beneficios de estos sistemas. Existe un buen número de agencias encargadas de la operación de sistemas de cuota que están considerando el uso de nuevas tecnologías a fin de reducir los niveles de congestionamiento en las plazas de cobro y satisfacer la demanda esperada. Equipar, operar y mantener carriles con sistemas de cobro electrónico se considera como el método más efectivo si se logra que la utilización de estos carriles sea alta. Un sistema de cobro electrónico reducirá el personal que atiende las casetas y los costos asociados con la impresión y entrega de recibos; sin embargo, estos ahorros se verán reducidos por los costos de operación que significarán la implantación de los nuevos sistemas. Estos nuevos costos incluyen el manejo de las cuentas de los usuarios, la venta de etiquetas electrónicas y costos adicionales de mantenimiento.

El uso de carriles con cobro electrónico tiene el potencial de reducir trabajos de expansión o reconstrucción de las plazas de cobro y puede reducir también el número necesario de carriles. Esto es un aspecto importante del análisis de costos. Usando los métodos tradicionales de cobro un carril de una autopista debe ampliarse a tres carriles de aproximación y a seis casetas de cobro. Esto es para lograr que la capacidad de la autopista no se vea limitada por la de la plaza de cobro.

Los costos de operación, de los usuarios y ambientales deben identificarse cuando se examinan los costos de un sistema de cobro de cuotas. Los salarios de los operadores, operación de las instalaciones y mantenimiento y el manejo de los ingresos son los costos de operación más importantes. El costo de operación de una plaza de cobro dependerá del número de empleados, su ubicación, número de casetas y el mecanismo de recolección de las cuotas. En un sistema de cobro tradicional, los costos que pagará el usuario por tener que detenerse en las casetas de cobro son el consumo de combustible, desgaste de las llantas, mantenimiento y reparaciones del vehículo, accidentes por alcance y retrasos. Alrededor del 85 por ciento de estos costos están representados por el tiempo perdido al esperar para pagar. En un sistema de cobro electrónico el costo de los usuarios estará asociado a los intereses que generarían los depósitos si se manejan cuentas prepagadas. Los costos por daños al medio ambiente están asociados con el exceso de emisiones y ruido que se genera en las plazas de cuota.

Los costos de un sistema de cobro, se reflejan mejor si establece un costo por transacción. En un sistema de cobro electrónico, el costo por transacción va de 5 a 10 centavos de dólar, dependiendo del tamaño del sistema y el número de usuarios. Los costos para un sistema manual son de alrededor de 9 centavos de dólar por transacción, un estimado que incluye equipo, mantenimiento y costos de auditoria. Si la mitad de las transacciones se procesan en carriles automáticos, el costo promedio por transacción se reduce a alrededor de 6 centavos de dólar.

Otra parte del costo de un sistema de cobro electrónico, es el correspondiente a las unidades instaladas en el vehículo, que lo identifican de manera única para el sistema. Estimaciones del costo de estas unidades varían de acuerdo al proveedor y las opciones deseadas. Sin embargo, el costo de las etiquetas electrónicas generalmente va de 15 a 50 dólares por cada una, dependiendo en el tipo y cantidad comprada. El costo por operación para una etiqueta electrónica va de 1 a 3 centavos de dólar por transacción, dependiendo en la tasa de utilización por mes y la vida útil de la etiqueta.

La mayor parte de los costos de operación asociados a un sistema de cobro electrónico se relacionan con el manejo de las cuentas y mantenimiento. Los pagos deberán acreditarse, estados de cuenta prepararse y enviarse y costos de correo cubiertos. La posibilidad de hacer cargos a tarjetas de crédito puede reducir los costos de operación. Debe notarse que el costo por transacción variará dependiendo en el número de operaciones realizadas por mes o ciclo.

Beneficios de un sistema de cobro electrónico.

Pueden esperarse los siguientes beneficios de la puesta en operación de este tipo de sistemas:

 Un incremento en la capacidad de las casetas de cuota, reduciendo al mismo tiempo las demoras ya que se requiere un menor tiempo por transacción. El número de vehículos atendidos por hora en una caseta de cuota va de 350 en el caso de una caseta con personal que verifica el importe, entrega cambio, emite recibos, etc., a 1200 para una caseta equipada con sistemas de cobro electrónico y barreras.

- Estos sistemas permiten retrasar la construcción de nuevas casetas de cobro. Esto se traduce en ahorros en adquisición de terrenos, costos de construcción y compra de equipo así como en la contratación de nuevo personal.
- El cobro electrónico de cuotas permite reducir el costo de operación del sistema de recolección de cuotas mediante la automatización de los pagos y la reducción de personal. Incrementa también la seguridad en el manejo de los fondos ya que elimina la necesidad de pagar en efectivo o entregar cambios.
- El cobro electrónico de cuotas puede mejorar el manejo de los esquemas de descuento cuando estos existen. La identificación única de los vehículos permite detectar aquellos que violen tales esquemas. Permiten también un mejor control contable de las operaciones del sistema de cobro.
- La participación en esquemas de cobro electrónico puede ser voluntaria, protegiendo así la privacidad de los que no deseen participar en el esquema. Ya que no pueden cubrirse las necesidades de todos los usuarios. Aquellos con un uso poco frecuente de la carretera de cuota podrán continuar en el esquema tradicional de pago. El número de carriles exclusivos para el cobro electrónico de cuotas dependerá del porcentaje de usuarios que participen en el esquema.
- Los proyectos de carreteras de cuota que incorporan sistemas de cobro electrónico de cuotas son más eficientes y dan un mejor servicio a los usuarios.
- Los sistemas de cobro electrónico de cuotas permitirán eliminar otros programas de suscripción tales como los cupones para viajeros frecuentes, pases mensuales, etc. Debido a que los pases o cupones pueden ser falsificados, se permite que algunos conductores usen la carretera de cuota sin pagar, provocando esto aumentos en las cuotas que el resto de los usuarios pagan.
- El cobro electrónico de cuotas permite aumentar las velocidades de circulación en la vecindad de las plazas de cuota; reducir los tiempos de viaje, tanto para usuarios del sistema como para los no usuarios, retrasos y el número de paradas; aumentar la precisión en la predicción del tiempo de viaje; reducir el personal de operación de las casetas de cuota.

- Los sistemas de cobro electrónico de cuotas reducen la emisión de contaminantes en las plazas de cuota al reducir tiempos de espera para pagar y movimientos de arranque y frenado.
- Para los operadores de una flota de camiones o autobuses existirán ventajas administrativas y de seguridad al no tener que manejar dinero en efectivo.
- El cobro electrónico de cuotas puede reducir los congestionamientos, ya que el tiempo necesario por operación se reduce, lo que incrementa la capacidad de las plazas de cuota. Los tiempos de espera se reducen.
- Los sistemas de pago de cuotas por medio del cobro electrónico son más convenientes ya que permiten pagar en efectivo, con cheque, tarjetas de crédito o transferencias electrónicas de fondos contrario a los esquemas tradicionales que sólo permiten el pago en efectivo.
- Los usuarios pueden tener un mejor control de sus gastos en peajes. El estado de cuenta periódico permite revisar las transacciones e incrementar el balance cuando se requiera.
- Si se instalan sistemas de manejo de tráfico junto con el cobro electrónico de cuotas, los usuarios pueden obtener beneficios adicionales por el pago de sus cuotas.

Recomendaciones para el caso de México.

Para el caso de México, se recomienda que se utilicen sistemas de radio frecuencia con tarjetas electrónicas de lectura y escritura. Aún cuando este tipo de tarjetas es más caro, las ventajas que presenta respecto a la privacidad y control de las cuentas de los usuarios, las hacen más atractivas para nuevos usuarios ya que éstos no verán afectados sus patrones de viaje al no ser indispensable que se quarde un archivo con sus movimientos.

Por lo que respecta al equipo de clasificación automática de vehículos y de vigilancia, deberá buscarse aquel tenga una mayor precisión y durabilidad al mejor costo. La instalación del equipo de video para vigilancia deberá considerar las diversas condiciones climatológicas que nuestro país presenta para lograr las imágenes con la calidad requerida.

Probablemente resulte conveniente, antes de instalar equipos adicionales de cobro electrónico, el esperar a que se establezcan estándares para esta industria. Esto puede resultar en la adquisición de equipo que pueda utilizarse por un mayor tiempo sin el riesgo actual de rápida obsolescencia.

La evaluación tecnológica del equipo a instalar deberá considerar la precisión de operación y durabilidad de los diferentes componentes del sistema de cobro electrónico, así como su compatibilidad con equipos existentes o futuras

tecnologías, su periodo de mantenimiento y la disponibilidad de refacciones y personal capacitado para realizar los trabajos de mantenimiento, tanto preventivo como correctivo. El lograr una alta precisión en la operación del sistema será un factor que puede atraer a un mayor número de usuarios. El contar con un mantenimiento rápido y efectivo redundará en ingresos más altos para la entidad operadora, ya que se podrá prestar un mejor servicio a los usuarios.

Deberá buscarse también, por medio de fuertes campañas publicitarias en donde se hagan notar las ventajas del cobro electrónico, que un mayor número de usuarios utilicen estos sistemas, sin olvidarse que la participación deberá de continuar siendo voluntaria. También deberá buscarse reducir los requisitos para la obtención de las tarjetas electrónicas. El ofrecer un esquema de pago con cuentas prepagadas, por medio de tarjetas similares a las tarjetas telefónicas, pudiera resultar atractivo para usuarios ocasionales de las carreteras de cuota.

Conclusiones.

A primera vista, las ventajas del uso de un sistema de cobro electrónico de cuotas parecen ser mucho mayores que su costo. El contar con un sistema que reduzca los niveles de congestionamiento en las plazas de cuota y que ofrezca diversas opciones de pago a los usuarios son dos de las características más atractivas.

El uso de sistemas de cobro electrónico hace más sencillo el establecimiento de diferentes regímenes de cobro ya sea por tipo o peso de vehículo, hora del día, distancia recorrida o incluso por los niveles de congestionamiento con los que esté operando la carretera de cuota.

Sin embargo, habrá que tener especial cuidado en la selección del equipo, ya que por carecer actualmente esta industria de estándares, se corren riesgos de una rápida obsolescencia del equipo empleado en el sistema de recolección. El costo de instalación de un sistema de cobro electrónico no es bajo y la decisión de instalarlo deberá estar plenamente respaldada por estudios de factibilidad económica que muestren una alto porcentaje de participación de los usuarios. Si se logra una alta utilización del sistema se podrá justificar entonces su actualización cuando se den avances tecnológicos en el área.

Tampoco habrá que dejar de lado el manejo del personal empleado en las casetas de cuota. Con la reducción del número de casetas atendidas manualmente, se reducirá el personal ocupado en esta actividad pero, surgirán nuevas oportunidades de empleo dentro de las entidades operadoras de carreteras de cuota, en actividades como mantenimiento del equipo de computo, procesamiento de imágenes de vehículos evasores o manejo de cuentas de los usuarios. Aún cuando estos nuevos empleos requerirán un reentrenamiento del personal, reducirán también el personal despedido.

1. Introducción.

En México, la red federal de carreteras pavimentadas comprende, de acuerdo a cifras de la Dirección General de Evaluación de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), 48,291 kilómetros. De este total, 5,972 kilómetros son carreteras de cuota operadas tanto por Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos (CAPUFE), como por empresas concesionarias. Por su parte, la red carretera estatal de carreteras pavimentadas cuenta con 49,741 kilómetros, de los cuales sólo 593 kilómetros son carreteras de cuota operadas por concesionarios privados (SCT, 1998).

Aún cuando el porcentaje de kilómetros en las carreteras de cuota es menor al siete por ciento del total de la red carretera pavimentada federal y estatal, el número de operaciones de cobro de cuotas es alto y ha experimentado un constante crecimiento en los últimos años. CAPUFE reportó que entre 1995 y 1997, en la red de caminos y puentes que este organismo maneja, el número de operaciones pasó de 172 a 192 millones por año (CAPUFE, 1997). Esta cifra refleja que aún pequeñas reducciones en el tiempo necesario para el cobro de las cuotas podrían significar ahorros importantes para el conjunto de usuarios de las carreteras o puentes de cuota. Los sistemas de cobro electrónico de cuotas (CEC), componente de los Sistemas Inteligentes de Transporte (SIT), han sido identificados como un elemento que ayudaría a reducir el tiempo invertido en pagar las cuotas.

Por otro lado, los congestionamientos en las plazas de cobro son uno de los principales problemas que los usuarios de carreteras de cuota enfrentan. Este problema se ve agravado al término de los fines de semana y períodos vacacionales, siendo frecuente observar largas filas en las plazas de cobro aún cuando todas las casetas estén abiertas.

En años recientes, CAPUFE ha puesto en operación una opción de pago que no requiere el uso de efectivo. El sistema, conocido como IAVE (Identificación Automática de Vehículos) utiliza una tarjeta de acceso. La tarjeta trabaja por medio de señales electrónicas que son emitidas desde una antena, localizada unos metros antes de la caseta de cuota, y que transmite la información necesaria para determinar el monto a cargar a la cuenta del usuario registrado como propietario de la tarjeta. El sistema graba también el tiempo en el cual se realiza el cruce. Un cargo periódico, con detalles acerca del número y hora de los cruces, es hecho a la tarjeta de crédito registrada en la cuenta. Sin embargo, debido a los requisitos a cubrir para obtener la tarjeta de acceso, el uso del sistema IAVE se ha visto limitado a líneas de autobuses de pasajeros con servicio regular y algunas compañías de autotransporte de carga. Usuarios de tipo particular son sólo un reducido porcentaje del total de usuarios. Otro problema que se ha observado es el reducido número de casetas dedicadas a usuarios de la tarjeta IAVE. Por ejemplo, en la autopista México- Puebla, sólo se usa una caseta en cada plaza de

cobro para esta tarjeta en ambas direcciones, cambiando estas casetas a un sistema de operación mixto en períodos de alta demanda (González, 2000).

CAPUFE ha propuesto cambiar el sistema de cobro actual de pago en efectivo en casetas atendidas por personal y tarjeta IAVE, por un sistema con opciones múltiples que incorporaría el aceptar pagos con tarjeta de crédito, pago exacto en efectivo en casetas sin personal y casetas completamente automatizadas para vehículos con tarjetas de acceso, así como incrementar el número de casetas en las plazas de cuota. Sin embargo, el nuevo sistema considera sólo un número limitado de casetas que usarían la tecnología de etiquetas electrónicas.

Este trabajo pretende ampliar, por medio de una revisión de la literatura existente en el área, el conocimiento en México acerca de los sistemas de CEC, sus beneficios y la tecnología asociada a estos. El trabajo revisa también aspectos relacionados con el diseño, puesta en marcha, costos y operación de este tipo de sistemas. El trabajo busca mostrar que el desarrollo de este tipo de sistemas en México ayudaría a una operación más eficiente de la red de carreteras de cuota.

1.1 El cobro de cuotas en una carretera.

Tradicionalmente, el cobro de cuotas en las carreteras en México, al igual que en otros países, ha estado asociado a la necesidad de recabar fondos para cubrir los gastos de mantenimiento y recuperar los gastos de construcción de la infraestructura carretera. Los métodos de cobro comúnmente usados son de tipo manual. Estos requieren que el conductor detenga su automóvil en la caseta de cobro, baje su ventana y entregue al operador de la caseta dinero en efectivo para cubrir el importe de la cuota. Por su parte, el operador de la caseta entrega al conductor el cambio, también en efectivo, en caso de que no se haya cubierto el importe exacto y un comprobante de pago que identifica la plaza de cuota, la caseta, la hora y fecha del cruce y el monto de la cuota. Una vez terminada la operación de pago, se abre la barrera localizada al final de la caseta y el vehículo puede proseguir su viaje.

Este tipo de sistemas de cobro tradicional requiere de un uso intensivo del suelo en el cual se instalan las plazas de cobro, la contratación del personal encargado de operar las casetas de cuota y el tiempo empleado en realizar las operaciones de cobro. Los sistemas de CEC, por su parte, reducen la necesidad de uso del suelo y de operadores, además del tiempo necesario para la operación. Por este motivo, los sistemas de CEC se consideran superiores a los sistemas de cobro tradicionales tanto para los agencias operadoras de los sistemas de cuota como para los usuarios.

1.2 Cobro electrónico de cuotas (CEC).

Los sistemas de CEC integran tecnologías avanzadas de identificación automática a los sistemas de control de tráfico ya existentes para identificar a los vehículos con un código único cuando pasan por un sensor, aún a altas velocidades. El CEC

permite automatizar los procesos de pago, haciendo innecesario parar en las casetas de cuota o usar efectivo. La automatización del proceso de pago trae consigo una reducción de los congestionamientos en las plazas de cobro, la reducción de los costos de recolección, aumento de la capacidad de las casetas de cobro, mejores sistemas de auditoría, reducción en el consumo de combustible, mejoras en la calidad del aire y reducción del tiempo perdido (Venable et al, 1995).

La puesta en operación de un sistema de CEC puede ayudar a retrasar la construcción de nuevas casetas de cobro, al incrementar la capacidad de las ya en funcionamiento; las ya existentes podrían simplificarse ya que no sería necesaria la presencia de un operador en cada una de las casetas. Sólo aquellas destinadas a vehículos sin etiquetas electrónicas o problemas con la misma requerirían de la presencia de un operador.

1.3 Componentes de un sistema de cobro electrónico de cuotas.

Los sistemas de CEC consisten en forma básica de tres elementos funcionales: Un Sistema de Identificación Automática de Vehículos, un Sistema de Clasificación Automática de Vehículos y un Sistema de Apoyo de Vídeo. Los sistemas de CEC hacen uso de equipo de computo, que transmite, procesa, analiza y guarda la información.

Existen elementos adicionales que la entidad operadora puede utilizar, tales como un procesador de información equipado con una base de datos para calcular cuotas de acuerdo al horario y características particulares del vehículo, recibir pagos, cargar o abonar cuentas, guardar datos para auditorías, transferir fondos, y mantener información sobre tarjetas no validas. Otros elementos pueden incluir métodos para proporcionar información a los usuarios acerca de sus balances y operaciones recientes (Venable et al, 1995).

1.4 Resumen del trabajo.

Después de haber presentado en este capítulo una introducción al trabajo, el capítulo siguiente describe en detalle los componentes de un sistema de CEC. El Tercer capítulo describe aspectos técnicos y de diseño. El cuarto capítulo cubre los aspectos de la puesta en operación de un sistema de CEC. Otros aspectos relacionados al CEC son cubiertos en el capítulo cinco. El capítulo seis describe la operación de plazas de cuota. El capítulo siete describe las ventajas y costos para operadores y usuarios de un sistema de CEC en la operación de plazas de cuota. Finalmente, el capítulo ocho presenta algunas recomendaciones para el caso de México y las conclusiones del trabajo.

2. Sistemas de Cobro Electrónico de Cuotas.

En este capítulo se describen con detalle los elementos de los sistemas de cobro electrónico de cuotas (CEC). Se presenta también una relación de los lugares en donde se han implementado esta clase de sistemas.

2.1 Sistemas de cobro electrónico de cuotas.

Un Sistema de CEC permite, mediante el uso de diversas tecnologías, que los procesos manuales de pago de peaje en una carretera se automaticen, de tal forma que los usuarios no tengan que detenerse para pagar en efectivo en las plazas de cuota. Con un sistema de CEC no es indispensable la construcción de una plaza de cuota para cobrar peajes. El equipo de recolección electrónica puede colocarse en portales sobre la carretera o en el pavimento, permitiendo el cobro de cuotas cuando los vehículos se mueven a velocidades normales en las carreteras.

Para que la puesta en marcha de un sistema de CEC sea efectiva, confiable y logre su mayor rendimiento y la aceptación de los usuarios, se requiere del trabajo adecuado de los tres componentes siguientes (http://www.ettm.com/etc.html, 2000):

- Un Sistema de Identificación Automática de Vehículos (IAV)
- Un Sistema de Clasificación Automática de Vehículos (CAV)
- Un Sistema de Apoyo de Vídeo (SAV)

El sistema de identificación automática utiliza etiquetas para lectura por medio de un sistema láser o dispositivos de radio - frecuencia montados en los vehículos a fin de ser identificados de manera única por el equipo instalado en las plazas de cuota. El sistema de clasificación utiliza diversos sensores en y alrededor del carril de circulación para determinar el tipo de vehículos y su respectiva tarifa. Los sistemas de apoyo de vídeo capturan imágenes de las placas de los vehículos que utilizan el servicio sin contar con una etiqueta valida y cuyos propietarios son identificados y notificados para que cubran la cuota y multas asociadas. Todos estos sistemas se asocian por lo que son comúnmente llamados "controladores de línea".

El controlador de línea es una computadora que recibe información de los equipos de identificación, clasificación y apoyo de vídeo. Usualmente, existe un controlador de línea por cada caseta que coordina las actividades de los otros equipos instalados en el carril y realiza la transacción para el cargo del peaje a la cuenta del usuario. El controlador de línea es también un dispositivo que almacena la lista de etiquetas de identificación que son válidas para su comparación con la información que el sistema de identificación le proporcione.

Además de los equipos que conforman los controladores de línea, cada plaza, usualmente cuenta con una computadora local que almacena la información de las transacciones de los controladores de línea y que se encuentra comunicada con otra computadora central que almacena todos los datos de las distintas plazas para consolidarlos en un solo lugar. La computadora local es usada también para proporcionar las listas de etiquetas válidas a los controladores de línea.

Para el manejo de los estados de cuenta de los usuarios, venta de etiquetas de identificación, procesamiento de las imágenes de vídeo e información a los usuarios, se puede contar con un centro de servicio a clientes. Este recibe las transacciones de los equipos de pago de las casetas y las asigna a la cuenta del usuario correspondiente; también transmite a las computadoras centrales de las plazas la lista de las etiquetas válidas que serán retransmitidas a los controladores de línea.

Un sistema de CEC permite a los operadores de las plazas de cuota mejorar el servicio al cliente ya que agiliza el paso por éstas, eliminando la necesidad del usuario de detenerse, buscar el efectivo, bajar su ventana y efectuar el pago. Estos sistemas también proporcionan a los conductores la flexibilidad de pagar su cuenta periódicamente con efectivo, cheque, tarjetas de crédito e incluso mediante una transferencia electrónica de fondos. Los usuarios que usan tarjetas de crédito tienen la opción de que sus cargos sean registrados automáticamente en sus estados de cuenta por el uso del CEC. Operadores comerciales tienen la ventaja de no necesitar mandar a sus operadores con dinero en efectivo o vales que pueden ser mal usados.

2.1.1 Identificación Automática de Vehículos (IAV).

La IAV es la forma en que se designa a los componentes y procesos del sistema de recolección de peaje que son capaces de determinar la cuenta asociada al vehículo con el propósito de cobrar el peaje al propietario. La tecnología que emplea la identificación automática está comprendida en dos categorías principales: Láser y Radio – Frecuencia (RF).

Los sistemas Láser utilizan etiquetas con un código de barras montadas en el vehículo (generalmente en la ventanilla trasera del lado del conductor), que son leídas por un lector láser al pasar el vehículo por la caseta de cuota (http://www.ettm.com/avi.html, 2000). Básicamente, los sistemas láser operan de manera similar a los sistemas instalados en las cajas de tiendas de autoservicio. Por su parte, los sistemas de RF utilizan una etiqueta electrónica o transponder (del inglés TRANSmitter/resPONDER, que es la función que desarrolla: transmitir una respuesta) montada en la parte interior del parabrisas, debajo del vehículo, en su techo o integrada a la defensa y que es leída por una antena de RF cuando el vehículo pasa por la caseta de cuota. El tamaño de las etiquetas electrónicas va desde el de un libro pequeño hasta el de una tarjeta de crédito un poco más gruesa de lo normal. La etiqueta electrónica y su instalación deben de ser resistentes al aqua, calor o vibraciones (Venable et al, 1995).

La tecnología Láser presenta varias desventajas, principalmente en sistemas que se localizan al aire libre, debido a que las etiquetas son fáciles de falsificar y son sensibles a las condiciones climatológicas o a la presencia de polvo. Adicionalmente, los lectores láser tienen un rango de lectura reducido para realizar la identificación del vehículo. La tecnología de RF no presenta estas limitaciones por lo que es considerada la tecnología más adecuada para la IAV y los sistemas de pago electrónico actualmente en proyecto consideran ésta como la tecnología a utilizar. Además de la recolección de peaje, algunos tipos de tarjetas de RF están siendo usados para la comunicación vehículo – camino. Esta tecnología permite mantener informados a los conductores de los vehículos equipados acerca de las condiciones del tráfico.

Existen tres tecnologías principales de RF utilizadas actualmente o en una fase intensiva de experimentación (http://www.ettm.com/avi.html, 2000):

- Etiquetas de RF
- Etiquetas inteligentes de RF
- Tarjetas inteligentes con etiquetas de RF.

2.1.1.1 Etiquetas de RF.

Son dispositivos localizados en o sobre el vehículo que se complementan con una antena de lectura de RF ubicada a un costado de la caseta de cobro para transmitir la información de identificación del vehículo al sistema de cobro de cuotas. La información almacenada en la etiqueta es fija (sólo de lectura) y no puede ser cambiada, además la etiqueta no tiene capacidad de procesamiento. Estas etiquetas son generalmente llamadas de Tipo I. Este tipo de etiquetas trabaja de manera muy efectiva en sistemas de cuota con barreras físicas.

Las etiquetas de RF operan en un modo dúplex medio, lo que significa que no pueden enviar y recibir datos al mismo tiempo. Estas generan la señal usada para comunicarse con la antena en dos formas: activamente, en la cual la etiqueta de RF contiene un transmisor y genera su propia señal de RF; y pasivamente, en la cual la etiqueta refleja la señal que recibe de la antena sin contar con un transmisor. Los tres rangos de frecuencia más utilizados por las etiquetas de RF son:

- 900 928 MHz
- 2.45 GHz
- 5.8 GHz

Sólo el rango de frecuencia de 900 – 928 MHz se utiliza actualmente en los Estados Unidos y las otras frecuencias en el resto del mundo. El rango máximo de las etiquetas de lectura/escritura de RF es aproximadamente de 30 metros, pero la

distancia normal en sistemas en operación es de 6 a 9 metros. Las etiquetas de RF contienen de 128 a 512 bytes de memoria. Sin embargo, la memoria de algunas etiquetas puede ampliarse a 16 megabytes. Algunas etiquetas cuentan con una batería no reemplazable que tiene una vida útil de entre 5 y 10 años.

Otras características de las etiquetas de RF pueden incluir:

- Una pantalla luminosa (LED) para proporcionar información al conductor por medio de la unidad de lectura del sistema
- Una pantalla de cristal liquido (LCD) para mostrar mensajes en pantalla al conductor por medio de la unidad de lectura del sistema
- Señal de alarma (sonido del dispositivo) para alertar al conductor
- Botones para avanzar/regresar que permiten al conductor ver los diferentes mensajes almacenados
- Puertos de Comunicación que permiten a la etiqueta comunicarse con otros dispositivos en el vehículo.

Existen algunas etiquetas cuya información puede ser actualizada en parte (lectura/escritura), con lo que la antena puede emitir información, actualizando el punto o la hora de entrada en sistemas en los que se cobra por distancia recorrida y con horarios diversos. A esta clase de etiquetas se les llama de Tipo II.

2.1.1.2 Etiquetas inteligentes de RF.

Son dispositivos localizados en el vehículo y que, al igual que las etiquetas de RF, se complementan con una antena de lectura para transmitir la información de identificación del vehículo al sistema de cobro de cuotas. Parte de la información que contienen es fija (datos del usuario y del vehículo) y otra parte es actualizable (por ejemplo, balance de la cuenta o puntos de entrada y salida a la carretera de cuota). La etiqueta inteligente contiene un microprocesador que almacena información que puede ser actualizada cada vez que se requiera. El uso de estas etiquetas no es todavía común ni los Estados Unidos ni en el resto del mundo.

Las etiquetas inteligentes de RF operan en un modo dúplex completo, es decir pueden recibir y enviar datos al mismo tiempo. De forma activa, generan la señal usada para comunicarse con la antena a través de un transmisor. Los rangos de frecuencia usados por estas etiquetas son los mismos que emplean las etiquetas de RF. Aunque su rango máximo de operación es mayor que el de las etiquetas normales, debido al uso de la transmisión activa, se usan comúnmente en distancias similares. Las etiquetas inteligentes tienen una capacidad de 16 a 64 kilobytes de memoria y contienen una batería reemplazable con una vida útil de 1 o 2 años (http://www.ettm.com/avi.html, 2000). Las etiquetas inteligentes tienen características adicionales similares a las de las etiquetas de RF comunes.

2.1.1.3 Tarjetas inteligentes con etiquetas de RF.

Para el pago de cuota, la tarjeta inteligente requiere de dos componentes: la tarjeta misma y una etiqueta de RF. La tarjeta inteligente es un dispositivo que tiene un circuito integrado con un microprocesador, memoria y que almacena información del balance de la cuenta. La etiqueta de RF se localiza en el vehículo e interactúa con la tarjeta inteligente permitiendo que la tarjeta transmita datos a la antena de lectura. Las tarjetas inteligentes con etiquetas de RF están bajo numerosas pruebas en Europa. Las etiquetas usadas con tarjetas inteligentes utilizan comunicación dúplex media o completa con transmisores activos o pasivos. Los rangos de frecuencia son los mismos que utilizan las etiquetas de RF (http://www.ettm.com/avi.html, 2000).

La IAV trabaja de la siguiente forma: cada caseta o línea de cuota es equipada con una antena de RF que usualmente se instala en la parte superior del carril de acceso, aunque algunas veces es colocada en el pavimento. Cada antena se conecta a un lector que controla la comunicación entre la etiqueta montada en el vehículo y ésta. El lector manda una señal (vía antena) a la etiqueta para realizar la comunicación. La etiqueta proporciona un número único de identificación del vehículo al sistema de CEC. En el caso de etiquetas de lectura/escritura, tarjetas inteligentes con y sin etiqueta de RF, es posible enviar información adicional (balance de la cuenta, puntos de entrada, etc.), enviando el lector, posteriormente, información actualizada.

2.1.1.4 Estandarización.

A pesar de todas las ventajas de los sistemas de RF para la identificación de vehículos, la proliferación de diversos estándares no compatibles entre ellos es su principal desventaja. Todos los principales fabricantes de sistemas de identificación de RF ofrecen sistemas propios, con el resultado de que diversas industrias han tenido que adaptarse a diversos frecuencias y protocolos. La situación actual muestra un desorden por la existencia de diversos sistemas de RF incompatibles para trenes, camiones, control de tráfico aéreo y cobro de peajes en carreteras (http://www.ettm.com/news/rfid.html, 2000).

La incompatibilidad de los sistemas de identificación de RF ha afectado a la industria en su conjunto ya que las reducciones en costos que debieran esperarse de las economías de escala no se han dado. Por fortuna, diversas organizaciones trabajan actualmente para resolver este problema y se espera que en el corto plazo se den a conocer los estándares a los que deberá sujetarse este tipo de sistemas.

2.1.2 Clasificación Automática de Vehículos (CAV).

La clasificación automática es la forma en que se designa a varios componentes y procesos del sistema de CEC con el cual el equipo utilizado para el cobro es capaz de determinar la configuración del vehículo y la tarifa correspondiente.

Para el cobro del peaje, los vehículos se clasifican principalmente en automóviles, camiones y autobuses, subclasificándose estos dos últimos de acuerdo al número de ejes. Los sistemas de clasificación automática se componen de varios dispositivos, que miden las características físicas de los vehículos, y un procesador que utiliza los resultados de estos dispositivos para clasificar los vehículos en diferentes categorías. En los sistemas manuales de cobro de cuotas, los sistemas de clasificación automática se utilizan para verificar la clasificación de los vehículos que hacen los operadores, y en los sistemas electrónicos de colección de peaje, se utilizan para calcular la tarifa adecuada o para verificar la clasificación de los vehículos con etiquetas o tarjetas de RF.

El tipo de vehículo puede ser determinado a través de sus características físicas, del número de ocupantes y del propósito del uso del vehículo o de alguna combinación de estos tres elementos. Las características básicas que un sistema de clasificación debe determinar en un vehículo son: el número de ejes y/o llantas del vehículo, las dimensiones (altura, longitud, área de contacto con el pavimento, altura del primer eje) y el peso del vehículo a fin de determinar correctamente la clase a la que pertenece (http://www.ettm.com/avc.html, 2000).

Un sistema de CAV consiste en sensores de carril que registran las características físicas del vehículo y una unidad de procesamiento que recibe datos de los diferentes sensores para interpretarlos y asignar una clasificación a cada vehículo que circula por el carril de cobro. Esta información es enviada al sistema de procesamiento para asignar la tarifa correcta.

Los sistemas de CAV pueden ser de Pre-clasificación y Pos-clasificación. Los primeros son usados, generalmente, para calcular o determinar el peaje correspondiente al vehículo, así como también, notificar al operador de los sistemas manuales de colección de peaje la cantidad adecuada. Los sistemas de Pos-clasificación se utilizan para verificar que la tarifa cobrada corresponda al tipo de vehículo (sistemas manuales) o para calcular el peaje adecuado en los sistemas de cobro electrónicos. Los sistemas de Pre-clasificación tienen una desventaja debido a que el equipo de clasificación automática debe ser instalado a una distancia considerable antes de las plazas de cuota a fin de que el sistema realice la identificación con la requerida anticipación, pero esto no es posible en algunas plazas ya que no existe espacio suficiente para instalarlos.

Los diversos equipos para determinar la clasificación de vehículos incluyen:

<u>Circuitos de Inducción</u> - son un conjunto de alambres que se colocan en canales construidos en el pavimento y se utilizan para detectar la presencia de vehículos al captar la masa metálica del vehículo.

<u>Sensores</u> - son dispositivos que funcionan como sensores de presión, se instalan en una estructura sobre el pavimento y se utilizan para determinar el número de ejes, número de llantas y la dirección en que circulan los vehículos. Un grupo de sensores en paralelo detecta la dirección del eje en movimiento a través de la

secuencia de activación de los sensores. Estos sensores se pueden clasificar en varios tipos, de acuerdo al principio físico usado para convertir la presión que ejerce el neumático del vehículo en una señal o impulso eléctrico que es identificada por la unidad lógica del sensor (Pietrzik y Mierzejewski, 1993).

- Sensores Electromecánicos: estos sensores son aparatos electromecánicos simples utilizados generalmente para aplicaciones a bajas velocidades debido a que son imprecisos a velocidades mayores de 90 km/h. Este tipo de sensores tiene un alto costo de mantenimiento.
- Sensores de Resistividad de caucho: estos sensores son similares a los anteriores, pero utilizan una resistencia de caucho, en vez de una de metal, para cerrar el circuito. Son recomendados para velocidades entre 3 y 130 km/h y tienen un costo de mantenimiento menor que los sensores metálicos.
- Sensores Opticos: estos aparatos utilizan rayos infrarrojos dentro de un tubo. El rayo al ser bloqueado cuando un eje del vehículo cruza el tubo, produce una señal eléctrica. Estos sensores son precisos para detectar vehículos a altas velocidades, su periodo de vida es prolongado y su costo de mantenimiento es bajo.
- Sensores Piezoeléctricos: estos sensores utilizan materiales especiales en la parte interior de un tubo. El material genera una corriente eléctrica cuando es sometido a la presión provocada por el eje del vehículo al cruzar por el sensor. Estos aparatos han probado ser bastante precisos en velocidades mayores de 8 km/h y en desarrollos recientes se han logrado sensores piezoeléctricos con mayor precisión entre el rango de 0 a 8 km/h.

Equipo de pesaje en movimiento - son aparatos sensibles a la presión que se instalan generalmente en estructuras a nivel del pavimento y se utilizan para determinar el peso de los ejes de los vehículos. Varios de los sensores utilizados para el equipo de pesaje en movimiento son iguales a los que se utilizan para la identificación de vehículos mencionada anteriormente. La diferencia radica en que estos últimos utilizan una serie de sensores que permiten la detección de la dirección en que se mueven los ejes. (http://www.ettm.com/avc.html, 2000)

- Placas Flexibles: estos aparatos utilizan una placa abatible para determinar el peso del eje de un vehículo. El aparato genera una corriente eléctrica cuando es sometido a una presión debido al eje del vehículo al circular sobre la placa.
- Banda Capacitora: el grado de presión que produce el eje del vehículo en la banda permite calcular el peso del eje.
- Sensor Piezoeléctrico: es un tubo que contiene un material especial que genera una variación de corriente eléctrica proporcional al peso del eje del vehículo que circula a través del sensor.

Rayos luminosos - estos aparatos emiten un rayo de luz infrarrojo que es cortado por el vehículo al pasar por el dispositivo. Se utilizan para detectar la presencia de un vehículo y para determinar su altura. Su funcionalidad es limitada debido a que no pueden separar o identificar con precisión vehículos con remolque y no proporcionan un perfil detallado del vehículo. Otra desventaja de los rayos luminosos es que el rayo se propaga a través de las ventanas de los vehículos registrando una separación del vehículo cuando ésta no existe.

<u>Cortinas Luminosas</u> - estos dispositivos emiten múltiples rayos de luz horizontalmente para detectar la presencia de un vehículo y medir su perfil. Una torre transmite rayos luminosos a través de la línea a una torre receptora y conforme el vehículo rompe los rayos de luz se produce un perfil bidimensional del vehículo. Los trailers o remolques pueden detectarse con una aproximación de centímetro y medio.

<u>Dispositivos de Exploración</u> - estos dispositivos generan radiación a varias frecuencias para detectar la presencia y perfil de un vehículo. Los aparatos de exploración que pueden ser útiles en las aplicaciones de la CAV incluyen los siguientes:

- Exploradores Ultrasónicos: éstos emiten ondas ultrasónicas que se reflejan al pasar un vehículo y son captadas nuevamente por el aparato transmisor detectando la presencia del vehículo y generando un perfil bidimensional. Estos exploradores son susceptibles de distorsión debido a las turbulencias del aire, cambios en la temperatura y la humedad.
- Exploradores Infrarrojos: esta tecnología es utilizada para clasificar y configurar el perfil del vehículo a través de un sistema explorador de cámara infrarroja horizontal o vertical. Los datos emitidos por el equipo son procesados para generar imágenes bidimensionales que son comparadas con plantillas para clasificar el vehículo.
- Exploradores Láser: éstos usan rayos láser para detectar y clasificar vehículos que circulan a altas velocidades y que tienen un gran volumen. Los datos del explorador son procesados para generar imágenes tridimensionales que son comparadas con plantillas almacenadas de varios perfiles de vehículos para su clasificación.

<u>Procesador de Imagen de Vídeo</u> - estos aparatos utilizan cámaras de vídeo para explorar el tráfico y programas de computo para determinar información del perfil del vehículo como longitud, ancho y altura a través de las imágenes captadas.

2.1.3 Sistemas de Apoyo de Vídeo (SAV).

Los SAV comprenden componentes y procesos de los sistemas de recolección de peaje que se utilizan para capturar información de los vehículos que violan la ley al no pagar la cuota correspondiente. Estos sistemas se utilizan para capturar

imágenes de las placas de los vehículos que circulan por los carriles donde existen sistemas de CEC y que no cuentan con una etiqueta electrónica válida.

Las imágenes capturadas se utilizan para obtener el número de matrícula y el lugar de registro (ciudad y estado) del vehículo. Ambos procesos pueden realizarse por un sistema automático o manual. La información se utiliza para realizar una búsqueda en los archivos y obtener el nombre del propietario del vehículo. Posteriormente se envía una notificación al propietario haciendo referencia al adeudo del peaje. Generalmente se aplica una multa muy superior al pago de la tarifa para disuadir al usuario de violaciones posteriores. En el caso de que el propietario del vehículo se rehuse a pagar la multa, las agencias encargadas de la administración de las autopistas pueden proceder penalmente.

El objetivo principal de la CEC es mejorar el flujo de vehículos en las plazas de cuota, permitiéndole a los usuarios circular sin disminuir la velocidad o sin detenerse. En algunas plazas, los operadores de las autopistas, han eliminado las barreras de paso de los carriles que cuentan con CEC. Sin embargo, si los usuarios creen que estas casetas no cuentan con un sistema de vídeo, pueden tomar ventaja de la situación e incrementar las violaciones. Es por esto, que los SAV son requeridos para grabar la información necesaria, ubicar al infractor, recuperar los peajes y emitir las respectivas multas para disuadir a los conductores de evadir el pago.

Las diversas tecnologías para los SAV incluyen (http://www.ettm.com/ves.html, 2000):

- Fotografías: los primeros SAV utilizaban cámaras para tomar fotografías a los vehículos que evadían el pago del peaje. Esta tecnología ha sido relegada debido a que el trabajo de procesamiento de las fotografías para obtener la información del vehículo es largo y costoso. Existen otras desventajas como la activación de la cámara, la falta de correlación de la imagen con el carril, omisión de la fecha y hora, y el almacenaje de las fotografías, que han hecho que este sistema sea obsoleto.
- Grabación en Cintas de Vídeo: los aparatos de grabación en cintas fueron posteriormente utilizados para grabar imágenes de vehículos al pasar por las casetas, la cinta de vídeo puede ser revisada posteriormente para verificar las imágenes y obtener el número de placa. Estas imágenes se reproducen en cámara lenta con otra unidad y puede determinarse la fecha y hora en que el vehículo circula por la caseta. La grabación se realiza en dos formatos de velocidad para mejorar el almacenamiento de las imágenes y optimizar el proceso de revisión de imagen. Además del gran espacio requerido para el almacenamiento de las cintas, este método requiere su transporte desde las instalaciones donde se capturan las imágenes hasta el lugar donde se procesan. A pesar de lo anterior, este método se sigue utilizando en muchos países. Este sistema requiere una cámara de vídeo y una grabadora por caseta de cobro.

- Imágenes Digitales: los últimos desarrollos para los SAV son sistemas de vídeo que capturan y almacenan digitalmente las imágenes. Estos sistemas tienen la capacidad de digitalizar imágenes, almacenarlas electrónicamente y transmitirlas a lugares remotos. Además, son parte fundamental para los procesos de Reconocimiento de Matrículas Autorizadas que permiten a los SAV identificar automáticamente donde se localiza la placa en la imagen, el número y origen, y almacenar esta información en el proceso de pago de cuota. Este sistema puede reemplazar el método de revisión manual de las cintas y reducir los costos de operación de los sistemas de CEC. Para la puesta en práctica de estos sistemas, generalmente se instala una cámara por carril en la plaza de cuota pudiendo estar conectadas a una estación de almacenamiento central.
- Reconocimiento de Matrículas Autorizadas: el objetivo de los SAV es obtener imágenes de alta calidad para determinar el número de matrícula del vehículo que utiliza los carriles donde existen sistemas de CEC. Con esta información puede identificarse al propietario del vehículo después de una búsqueda en los archivos correspondientes. El reto es obtener la información de la matrícula de manera precisa y a un bajo costo. Actualmente, muchos sistemas son manejados por humanos para determinar este tipo de información, lo que resulta un proceso complicado que tiene la probabilidad de fallar al hacer una lectura o identificación incorrecta. Sin embargo, la tecnología del Reconocimiento Óptico de Caracteres (OCR por sus siglas en inglés) ha avanzado a un nivel en el cual algunos fabricantes proponen la construcción de sistemas que incorporen el reconocimiento automático de las matrículas utilizando dicha tecnología.

El mayor problema de los sistemas de reconocimiento de matrículas autorizadas es el nivel de precisión para obtener la información, aunque esto no es necesariamente problema de la tecnología, sino que pueden existir factores que se combinen y afecten la obtención de dicha información. Estos factores pueden ser: falta de uniformidad en los estándares de las matrículas, matrículas sucias o en mal estado, ubicación incorrecta o pérdida de éstas, ambigüedad o similitud de letras y números que no pueden ser determinados explícitamente, etc. Como resultado de estos factores, los sistemas de reconocimiento frecuentemente requieren de la intervención humana para leer imágenes y confirmar los resultados. Para mejorar los resultados, los fabricantes han perfeccionado los dispositivos para capturar imágenes múltiples, aumentando el nivel de confiabilidad de los datos y reduciendo la revisión manual.

Los SAV trabajan de la siguiente forma (http://www.ettm.com/ves.html, 2000):

 Interruptor - Los sensores instalados en el pavimento informan a los SAV de la presencia de un vehículo que está en posición para comenzar la captura de la imagen.

- 2. Adquisición de la Imagen la cámara captura una imagen análoga del vehículo y la envía a través de un proceso de conversión digital. Todas las casetas cuentan con una cámara que está enfocada para capturar el área total de la matrícula y en algunos casos capturan la matrícula frontal del vehículo, que es necesaria para los trailers debido a que ésta es generalmente más visible en la parte frontal.
- 3. Identificación de la Imagen para cada vehículo que circula por una caseta, se almacenan temporalmente una o varias imágenes en la memoria de un tablero de interfase. Si el operador de la caseta identifica que el vehículo es un infractor, las imágenes en el tablero son almacenadas. Antes de almacenarse, el operador puede sobreponer en la imagen el número de la caseta, la identificación de la plaza de cuota, la fecha, la hora y en algunas ocasiones el tipo de infracción y/o número de cámara.
- 4. Almacenamiento de la Imagen la imagen puede ser almacenada localmente en el controlador de la caseta o transferida al sistema de la plaza. Cuando la plaza tiene un sistema de captura de imagen separada, los SAV pueden estar conectados a un servidor que almacena las imágenes por separado.
- 5. Procesamiento de Imágenes las imágenes son procesadas por un sistema de revisión que se encuentra ubicado en el centro de servicio al cliente. Las imágenes son transferidas por partes, tal como un disco óptico o cinta, o por medio de una transmisión en red.
- 6. Eliminación de Imágenes las imágenes que corresponden a vehículos no infractores son descartadas. Para los infractores, las imágenes son generalmente almacenadas en un archivo del servidor de la plaza por un periodo de tiempo corto antes de ser eliminadas. Las imágenes que son enviadas al centro de atención a clientes y utilizadas para notificar a los infractores son guardadas el tiempo que sea necesario hasta completar el proceso legal.

Existen algunos aspectos de los SAV que deben considerarse como:

Campo Visual de las Cámaras - éste se refiere al tamaño (ancho y altura) de la imagen de la cámara y tiene importancia ya que de esto depende la resolución que ésta ofrece. La resolución debe ser lo bastante alta para ser leída en un monitor, o por un sistema automático de reconocimiento para obtener la información precisa de la placa. Cuando el campo visual de la cámara no abarca completamente el carril de la caseta, el problema es obtener una imagen con la suficiente calidad para determinar la información. Este problema se resuelve adquiriendo equipo de mayor resolución, tomando varias imágenes y/o instalando mas cámaras de vídeo.

Privacidad - cuando el sistema graba una o más imágenes completas de un vehículo que circula a través de la caseta de cuota, es posible que las imágenes identifiquen al conductor y/o pasajeros, lo que podría considerarse una invasión de

su privacidad; este caso se presenta especialmente cuando el sistema captura imágenes de cada vehículo descartando posteriormente a los que no incurren en la violación del sistema, para evitar este tipo de problema la imagen grabada es generalmente reducida para observar solo el área correspondiente a la matrícula del vehículo y, si es posible, grabar sólo a los vehículos que infringen el pago de la cuota (Pietrzik y Mierzejewski, 1993).

Iluminación y Velocidad de Disparo - la velocidad de disparo se configura de acuerdo a la luz que exista y a la velocidad del vehículo ya que una velocidad inadecuada puede resultar en imágenes borrosas o manchadas. Para las operaciones nocturnas, la luz es primordial para obtener imágenes claras y el tipo de iluminación debe ser compatible a las características de la cámara. Se debe considerar el sitio de instalación del sistema de iluminación para evitar que los conductores o peatones se den cuenta que existe una cámara. En algunas plazas, se utilizan sensores infrarrojos para minimizar el problema.

Número de Imágenes - la precisión con la que se debe obtener la información de la matricula, ha ocasionado que en algunas instalaciones se tomen secuencias de imágenes.

Reducción de Imágenes - las imágenes son comprimidas antes de ser almacenadas en la computadora o de ser transferidas a los centros de revisión con el objetivo de no saturar la memoria y para reducir el tiempo que se requiere para transferir imágenes a la computadora central. El formato típico de compresión de imágenes que se utiliza es el del Grupo Unido de Expertos en Fotografía (JPEG por sus siglas en inglés).

Matrículas Frontales - un camión que esté conformado por un semirremolque, presenta un problema respecto a la ubicación de la cámara, debido a que la matrícula trasera, que es comúnmente el objetivo de los SAV, generalmente no tiene la ubicación deseada. Para resolver este problema se capta una imagen de la matrícula frontal, aunque el problema en los sistemas de iluminación para las imágenes nocturnas se vuelve crítico. Para esto los fabricantes han diseñado luces de amplio rango de varios tipos.

Transferencia de Imágenes para Procesamiento de Infractores - el proceso más común es almacenar las imágenes en la plaza de cuota y periódicamente transferirlas al centro de revisión en discos o cintas. Esto crea una demora en el proceso de detección de infractores. Con el desarrollo de redes de mayor capacidad, las imágenes pueden transmitirse electrónicamente a los centros de revisión con mayor frecuencia.

Retroalimentación del Proceso de Revisión de Imagen - durante el proceso de revisión, las imágenes pueden clasificarse para llevar un control estadístico de las que son revisadas y en el caso de que existan imágenes distorsionadas se puede determinar que existe un problema con el equipo, que posteriormente debe corregirse con el mantenimiento adecuado.

2.2 Aplicaciones.

2.2.1 En el ámbito internacional.

ESTADOS UNIDOS

Dentro de los desarrollos de los sistemas de CEC por agencias de los Estados Unidos están la de los estados de California y Florida. Estos proyectos son respaldados principalmente por los Departamentos de Transporte (DOT) de los estados, así como también existe una participación de la Administración Federal de Carreteras (FHWA).

En octubre de 1988, el departamento de transporte de California (Caltrans) llevó acabo una prueba de IAV en el puente Coronado - San Diego. Este sistema utiliza tecnología de ondas acústicas; las tarjetas cuentan con un número único que identifica al vehículo que va instalada en el parabrisas del vehículo y que puede ser leída por medio de una antena de radio frecuencia.

Posteriormente en junio de 1991, Caltrans implementó sistemas de CEC en otros puentes que tienen bajo su administración como el de San Francisco – Oakland Bay.

La Agencia de Corredores de Transporte (TCA) invirtió en 1990 2.1 billones de dólares para la puesta en operación de los sistemas de CEC en el Condado de Orange en California, en donde se están aplicando las tecnologías mas avanzadas de los SIT para reducir los congestionamientos en las plazas de cuota (Venable et al, 1995). Se planea instalar un sistema de manejo de tráfico sofisticado para apoyar a las autoridades encargadas del control de tráfico de las autopistas de cuota. Este sistema tendrá un centro de operaciones, señales de mensajes variables, contadores en rampas, circuito cerrado de televisión y sensores.

En el estado de Florida existen diferentes proyectos para implementar el CEC, uno de ellos es el de la Isla Bay Harbor que en 1990 a través del gobierno local decidió mejorar la eficiencia de su sistema de recolección de peajes implementando seis sistemas Láser de identificación automática en las plazas de cuota que tienen un flujo vehicular de 20000 vehículos diarios.

El sistema tiene tres características claves (Pietrzik y Mierzejewski, 1993): 1) los exploradores o scanners tienen la capacidad de leer un código de barras en cualquier condición climatológica; 2) capacidad de los equipos para distinguir entre diferentes tipos de matrículas; y 3) capacidad de lectura de cuatro códigos de barras diferentes. El sistema láser de código de barras redujo la operación del pago de peaje hasta 5 segundos por transacción, ya que anteriormente este proceso se hacia en 8 segundos por vehículo y actualmente se realiza en 2.5 o 3 segundos.

En el estado de Oklahoma se está planeando sustituir el sistema de cobro electrónico actual de sus autopistas, que ha operado desde 1991 y que utiliza una tarjeta de lectura por uno más avanzado que utilice tarjetas de lectura y escritura. Para llevar a cabo los estudios correspondientes se contrató a la compañía Transcore y se espera que en un futuro próximo se tengan elaborado los planes para la actualización del sistema. (Tecno Vial Mundial, 2000).

Estos son algunos ejemplos de las diversas aplicaciones de los Sistemas de CEC en los Estados Unidos, donde la mayoría de los estados cuentan con diversos proyectos encaminados a reducir los congestionamientos y optimizar sus instalaciones aplicando este tipo de sistemas. Los cuadros del apéndice A complementan esta sección con información de los sistemas de cobro electrónico actualmente en operación en los Estados Unidos.

EUROPA

En Inglaterra se han aplicado los sistemas de CEC para reducir los congestionamientos. Un ejemplo es el cruce del río Támesis donde la agencia DRC (Dartford River Crossing) opera los túneles y puentes sobre el río Támesis que se encuentran localizados a 25 km al este de Londres. Una compañía de señalamientos y equipos electrónicos francesa (CSEE) instaló los sistemas de CEC utilizando etiquetas de identificación o transponders. El objetivo inicial para el uso de los transponders era de 5000 a 10000 vehículos.

El sistema comenzó a funcionar en abril de 1992 denominado "Dart Tag". El transponder se instala en la parte central del parabrisas de los vehículos. El cruce tiene un promedio de tráfico diario de 90000 vehículos y cuenta con un total de 24 casetas de cuota (18 manuales, 12 automáticas, 2 exclusivas de CEC y 6 mixtas). El sistema incluye la pre-clasificación y listado de vehículos robados. Las opciones de pago son en efectivo, por tarjeta de crédito, cheques y pagos en bancos. (Directorate General for Transport, European Commission, 1995)

En Francia existe una red de autopistas de cuota de 5360 km donde existe una gran variedad de métodos de pago de peajes. Estos métodos incluyen pago en efectivo, en cheques, tarjetas de banco y tarjetas emitidas por los concesionarios de las autopistas. Hasta marzo de 1991, aproximadamente el 30% del pago de cuota se realizaba con tarjetas de código magnéticas (Venable et al, 1995)

La colección automática de peaje (télépéage) complementa los sistemas de pago que se han instalado en diferentes sitios, los que son básicamente áreas suburbanas con tráfico regular. En julio de 1993, las agencias operadoras de la colección de peaje acordaron implementar un sistema estándar de CEC en el ámbito nacional. Los nuevos sistemas utilizan tecnología de tarjetas inteligentes que permite a los usuarios pagar la cuota sin detenerse. Con este sistema el conductor inserta la tarjeta inteligente en un transponder; la tarjeta es leída a control remoto aplicando la tarifa correspondiente cada vez que el vehículo pasa por una plaza de cuota.

En Italia, en 1990, la compañía Autostrade Communicazione S.p.A. instaló el sistema Telepass, primer sistema en el mundo que no requiere que los vehículos paren para pagar cuotas. El sistema fue instalado primero en un carril y actualmente se está desarrollando su instalación en carriles múltiples, siendo su instalación compatible con los sistemas manuales y automáticos actuales. (http://www.ertico.com/what_its/succstor/telepass.htm).

Existen también aplicaciones de los sistemas de CEC en otros países europeos como Noruega, Portugal, España, Holanda y Suecia.

JAPON

La Corporación Pública de Autopistas de Japón (JH) ha impulsado la investigación en las tecnologías de los sistemas CEC y manejo de tráfico. Actualmente la mayoría de las autopistas de cuota son operadas por la JH, que ha implementado los sistemas de tarjetas magnéticas. Las tarifas varían dependiendo de las distancias recorridas y actualmente la JH esta interesada en el desarrollo de tecnologías para tarjetas de identificación de lectura/escritura.

HONG KONG

En enero de 1992, el gobierno de Hong Kong aprobó un plan piloto de 30 días aplicando equipos de CEC y de IAV en conjunto con un sistema que funciona a través de la elevación de tarifas en las horas pico de las autopistas de cuota. Posteriormente a este proyecto, se instalaron equipos de IAV de RF en dos casetas de cuota del túnel Aberdeen, el cual es manejado por la Compañía Cross Harbor Tunnel, siendo uno de los objetivos implementar estos sistemas en otros túneles de Hong Kong (Venable et al, 1995).

Este nuevo sistema tuvo gran aceptación por parte de los usuarios, debido a la opción de adquirir un transponder con un pago anual fijo el cual se podía efectuar en efectivo, con tarjeta de crédito y otros sistemas de pago, además de que el sistema permitía a los usuarios hacer pagos anónimos, beneficiándose en términos de privacidad.

Otros países Asiáticos que han implementado el CEC en forma exitosa son Malasia y Singapur.

2.2.2 Aplicaciones en México.

En México, CAPUFE contrató, en abril de 1992, a la compañía Amtech para implementar un sistema de CEC en las diferentes autopistas de cuota y puentes que tienen bajo su administración. El sistema incluye el software de recolección de tarifas y el hardware para la IAV que son propiedad de la compañía Amtech.

El sistema se instaló, inicialmente, en 134 casetas de cuota en 58 plazas. La puesta en operación comenzó a mediados de 1992 y la compañía Integra Ingeniería S. A. de C. V. participó activamente en el proyecto. El valor inicial del

contrato fue de aproximadamente 2 millones de dólares incluyendo el suministro de 5000 tarjetas de identificación electrónica (Venable et al, 1995).

El sistema consiste en la instalación de sensores para detectar la presencia de vehículos y clasificarlos de acuerdo al número de ejes, así como también de la instalación de una antena lectora de RF, que se utiliza para identificar las etiquetas instaladas en el parabrisas de los vehículos. El sistema, hasta la fecha, es utilizado en su mayoría por empresas de transporte regular como líneas de autobuses y algunas empresas de transporte de carga.

El objetivo principal del sistema era la reducción de los congestionamientos que se presentan en las diversas plazas de cuota del país, sin embargo esto no se ha logrado debido a que los problemas de congestión se relacionan principalmente con los automóviles particulares ya que estos son el mayor porcentaje de los vehículos que circulan por las autopistas de cuota.

La contratación del sistema IAVE no ha sido extensa por parte de vehículos particulares debido a, entre otras, las siguientes razones: La necesidad de que el usuario cuente con una tarjeta de crédito bancaria respaldada por los sistemas internacionales Master Card o Visa. La circulación poco frecuente de los usuarios que utilizan automóviles particulares por las autopistas. El tener que cubrir un fondo de garantía de 1000 pesos así como un cargo anual por renta del sistema de 300 pesos (Centro de Información para Contratación del Sistema IAVE, 1999).

Para completar la información de los sistemas de cobro electrónico en México, el cuadro del Apéndice B presenta los lugares en donde estos sistemas están instalados.

3. Aspectos técnicos y de diseño.

En este capítulo se describen la tecnología a aplicar y los diversos aspectos a considerar en el diseño de un sistema de CEC. Los aspectos técnicos cubiertos son: condiciones del medio ambiente, precisión, sistemas de pago y sistemas de auditoría. Por lo que respecta a aspectos de diseño, se cubren temas como la seguridad, comunicaciones, compatibilidad y flexibilidad que este tipo de sistemas debe cumplir para su correcta puesta en operación.

3.1 Aspectos técnicos.

Cuando se planea un sistema de CEC, aspectos técnicos tales como las condiciones climatológicas imperantes en el lugar de instalación de la plaza de cuota, precisión deseada para el sistema de cobro, sistemas de pago y sistemas de control contable deberán ser considerados.

3.1.1 Condiciones climatológicas.

Las condiciones climatológicas imperantes en el lugar de la posible instalación del sistema de CEC deben de ser tomadas en cuenta. Al viajar, los automóviles circulan en un ambiente lleno de polvo, viento, humedad, aceite, lluvia y en lugares con climas muy fríos nieve, hielo o compuestos químicos usados para el deshielo de los caminos. El equipo puede estar sometido a temperaturas extremas que bien pueden ser mayores a los 40° C en el verano y menores a –20°C en el invierno. Diversos estudios han mostrado que algunos equipos de vídeo usados para captar imágenes de las placas pueden verse afectados por temperaturas tan frías. Los fuertes vientos pueden afectar las ondas sonoras verticales usadas por algunos equipos de clasificación automática (Humphrey et al, 1992).

3.1.2 Precisión del sistema.

La precisión de un sistema de CEC es importante para lograr que un mayor número de usuarios se interesen en contar con el servicio y que se incrementen los ingresos que éste genere. Ningún usuario deseará que se le cobre más de lo que corresponda o recibir requerimientos de multas cuando ha cumplido las reglas. Sin embargo, el área de clasificación automática necesita ser mejorada ya que su nivel promedio de precisión actual, obtenido en estudios de campo, va del 89.7 al 98.4 por ciento, inferior a los sistemas convencionales de cobro de cuotas, cuyo rango de precisión va del 93 al 98 por ciento (Pietrzyk, y Mierzejewski, 1994). Los vehículos pueden ser clasificados en categorías distintas a la que les corresponda o no ser clasificado en ninguna. El sistema de clasificación debe de ser capaz también de detectar aquellos vehículos que usen etiquetas que no les correspondan (Venable et al, 1995).

3.1.3 Esquemas de cobro.

Los esquemas de cobro deberán cubrir las necesidades tanto de los usuarios como de la entidad operadora del sistema de CEC. Ya que los operadores de carreteras de cuota en México no dan crédito a los usuarios, se requiere usar un sistema de pre-pago. Las opciones para el sistema de pre-pago pueden incluir efectivo, cheques, tarjetas de crédito o transferencia electrónica de fondos que puede ser pre-autorizada. El uso de una tarjeta de crédito o la transferencia electrónica de fondos pre-autorizada permite que la cuenta del sistema de CEC se recargue cada vez que su balance alcance cierto mínimo. Esto último permite a la agencia operadora contar con fondos adicionales para invertir en otros proyectos, ganar interés o mejorar su disponibilidad de efectivo (Venable et al, 1995).

Al usar un sistema de CEC, el conductor puede ser informado acerca del balance de su cuenta y ser enviado a casetas atendidas cuando se requiera.

3.1.4 Sistemas de control contable.

El sistema de control contable se define como el sistema que permite clasificar de manera correcta todas las transacciones individuales, comparando las cantidades recolectadas al total de transacciones. En un sistema de CEC los controles contables se efectúan de manera automática ya que los equipos de clasificación de vehículos, pagos y vídeo están integrados en un sistema único. Durante una revisión, las transacciones irregulares mostrarán aquellos casos de cuentas inválidas, etiquetas no leídas o erróneamente leídas, clasificaciones incorrectas, etc. (Venable et al, 1995).

3.2 Aspectos de diseño.

Entre los factores a considerar en el diseño de un sistema de CEC se encuentran los de comunicación, confiabilidad, flexibilidad y seguridad.

3.2.1 Comunicación.

Los sistemas de CEC basan gran parte de su operación en los sistemas de comunicación entre sus diferentes componentes. La etiqueta electrónica colocada en el vehículo debe comunicarse con el lector de la caseta. El lector de la caseta debe comunicarse con la computadora local de la plaza de cuota. Debe existir también comunicación entre las computadoras locales de cada plaza y de éstas con la computadora central. El enlace de comunicación debe ser seguro, adaptable y confiable. El modo de comunicación deberá considerarse también. Existen diversas opciones como el uso de radio frecuencia, lectores ópticos o lazos de inducción para la comunicación entre el vehículo y los lectores de las casetas. Las conexiones entre los lectores y las computadoras y de éstas entre si pueden ser por medio de cables, líneas telefónicas y/o cable de fibra óptica (Venable et al, 1995).

3.2.2. Confiabilidad.

Contar con un equipo confiable es importante para las entidades operadoras de un sistema de CEC, ya que este es el equipo que les genera ingresos. Los sistemas de CEC son más confiables que máquinas tragamonedas ya que no tienen elementos mecánicos. Los sistemas de CEC pueden diseñarse de forma tal que operen aún cuando las comunicaciones con la computadora central estén fallando ya que pueden usarse computadoras portátiles para cargar y descargar información de las casetas individuales. El sistema puede informar a los operadores cuando algún equipo no esté trabajando correctamente.

Las líneas telefónicas pueden utilizarse como respaldo cuando otros tipos de conexión fallan. También debe considerarse el uso de generadores portátiles para el caso de fallas de los sistemas de alimentación de energía.

3.1.3 Compatibilidad.

Una entidad operadora de carreteras de cuota debería considerar tres diferentes tipos de compatibilidad. El primer tipo es la compatibilidad del equipo fabricado por compañías diferentes. Para integrar el equipo en un sistema se requiere que el equipo sea adaptable. La compatibilidad requiere el mismo estándar de comunicación entre la etiqueta electrónica y la antena de la caseta de cuota. El segundo tipo de compatibilidad es el de lograr que las etiquetas y los lectores sean compatibles con otros sistemas de cobro electrónico. En el caso de México, lo anterior no significa un gran problema ya que la mayoría de los caminos de cuota son operados por un solo administrador (CAPUFE). Se deberá buscar, sin embargo, que aquellos operadores distintos a CAPUFE se adhieran a los mismos estándares de comunicación. Para vehículos que atraviesan fronteras internacionales, este continuará siendo un problema hasta en tanto no se logren acuerdos respecto a estándares. El tercer tipo de compatibilidad que se debe buscar, es el que el equipo sirva para otras aplicaciones en Sistemas Inteligentes de Transporte; el equipo podría ser usado para captar información sobre las condiciones de tráfico y con ésta determinar rutas que permitan una mejor operación del sistema. El tercer requerimiento en cuanto a compatibilidad traería consigo un incremento en costo ya que, por ejemplo, una entidad operadora de carreteras de cuota podría requerir únicamente una tarjeta de lectura mientras que un Sistema de Transporte Inteligente requeriría de tarjetas de lectura y escritura.

3.1.4 Flexibilidad.

El diseño de un sistema de cobro automático necesita ser flexible de tal forma que sea posible expandirlo, cambiarlo, mejorarlo y que incluya servicios adicionales. La flexibilidad puede incluir también diversos sistemas de pago y uso de la etiqueta electrónica. El diseño del sistema necesita considerar aquellas situaciones en las que ocurran fallas, accidentes o vehículos descompuestos que requieran el cierre de carriles de circulación. Los sistemas de cobro electrónico deberán considerar

algunos carriles con modos mixtos de cobro, de forma tal que si un carril se cierra, los vehículos equipados cuenten con alternativas para circular y pagar las cuotas (Venable et al, 1995).

3.1.5 Seguridad.

El diseño del sistema de cobro electrónico deberá considerar tanto la seguridad de las etiquetas electrónicas y el equipo de lectura de tarjetas como la de los operadores y usuarios. En el caso de las etiquetas electrónicas, una vez que éstas son entregadas al usuario, la entidad operadora pierde control sobre ellas. Por tanto, las tarjetas deben de ser diseñadas con protecciones que eviten su alteración.

El equipo de lectura y las diversas instalaciones de la plaza de cuota corren el riesgo de sufrir actos de robo, accidentes o destrucción intencional. Se requiere seguridad en estas instalaciones para cuidar a las propiedades, al personal, a los automovilistas y a los ingresos en efectivo. Una forma sugerida para aumentar la seguridad es requerir que los empleados y visitantes usen gafetes de identificación que no sean fácilmente falsificables (Venable et al, 1995).

Por lo que respecta a la seguridad de los operadores y de los usuarios, se deberá considerar que al operar carriles con tarjetas electrónicas, la velocidad de operación será mayor con lo que el riesgo de accidentes que afecten a los operadores y otros automóviles se incrementa.

4. Aspectos a considerar para la puesta en operación de un sistema de cobro electrónico.

En este capítulo se discuten aspectos relevantes a la puesta en operación de un sistema de cobro electrónico de cuotas (CEC). Los aspectos incluidos son los de estandarización, capacidades, requerimientos del sistema y desempeño en operación. Cada uno de estas áreas deberá considerarse en detalle antes de la puesta en operación de un sistema de cobro electrónico de cuotas.

4.1 Estandarización.

La estandarización en los equipos usados en un sistema de cobro electrónico de cuotas puede conducir a una reducción en costos en su instalación ya que permite que diferentes compañías puedan competir al producir equipo compatible. Con el uso de equipos con estándares similares se logra una mayor eficiencia en la operación facilitando su uso por parte de los conductores.

4.1.1 Estándares de un sistema de CEC.

Para Venable et al (1995): "La idea de contar con estándares para la identificación automática de vehículos ha estado presente prácticamente desde el inicio de la concepción de estos sistemas. Las autoridades se han mostrado preocupadas por el hecho de que los viajeros que cubran distancias largas tengan que viajar con una serie de etiquetas electrónicas, compatibles cada una de ellas con el equipo de lectura usado en un tramo en particular por el que el vehículo circule. La adopción de un estándar significaría que una sola etiqueta sería suficiente si cada uno de los equipos utilizados es compatible. Además, las entidades operadoras de las carreteras de cuota podrían comprar sistemas completos, o partes de estos sistemas, a distintos proveedores, sin tener que preocuparse por la compatibilidad de los mismos."

"Existen dos puntos de vista respecto a los problemas que la estandarización ha causado. Por un lado se cree que debe permitirse que el mercado por si mismo sea el que establezca sus estándares. Siendo esta industria relativamente nueva, se argumenta que la imposición de estándares dañaría al desarrollo de los sistemas de identificación automática de vehículos."

"La otra posición afirma que la estandarización es necesaria para que las redes se puedan interconectar. Aún cuando diversos sistemas de cobro electrónico están teniendo un gran crecimiento, los problemas de compatibilidad entre ellos amenazan con reducir los beneficios del uso de estas nuevas tecnologías. En los Estados Unidos de América, el establecimiento de estándares regionales o nacionales ha resultado una tarea muy complicada."

"Se han otorgado ya una serie de patentes para etiquetas electrónicas, lectores y antenas y, ya que algunas de las tecnologías son mutuamente excluyentes, las compañías que las poseen difícilmente estarán de acuerdo en abandonar sus derechos de propiedad. Por ejemplo, los lectores pueden conectarse a diferentes sistemas de computo, pero las tarjetas electrónicas de una marca no pueden ser leídas por los lectores de la competencia. Cuando se colocan dos etiquetas de fabricantes diferentes en un mismo vehículo, la presencia de una puede causar interferencia cuando la otra está siendo leída. La creación de un estándar similar al usado en los supermercados para la lectura de precios pudiera ser una solución. Sin embargo, algunas de las compañías fabricantes de equipo para la IAV no están dispuestas a compartir su tecnología. El pretender hacer los sistemas compatibles con alguna marca en particular, como en le caso de las computadoras personales compatibles con IBM, no es todavía posible, ya que ésta es un área en la que se están dando avances día a día y no es tiempo de atarse a una tecnología en particular. "

"En una reunión realizada en noviembre de 1991, la Sociedad de Transporte Inteligente de América (ITS-America) analizó la posibilidad de establecer un conjunto común de estándares. Sin embargo, se decidió que el establecimiento de estándares para los equipos ya existentes o en ese tiempo en fabricación, sería impráctico debido a restricciones de tiempo. Las agencias ahí reunidas decidieron desarrollar ese conjunto de estándares para los equipos de cobro electrónico de cuotas de la siguiente generación. Los estándares tratarían de cubrir las siguientes áreas: contenido de los datos de la etiqueta electrónica, frecuencia de operación, potencia y colocación de la antena. Se esperaba que los estándares establecidos ayudaran a encontrar soluciones con costos reducidos."

"Entre los grupos que han tratado de desarrollar estándares para equipo electrónico de cobro de cuotas y manejo de tráfico se encuentran los siguientes:

- ITS America
- Grupo de Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) de la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM)
- El Consejo de Investigación en Transporte (TRB) por medio de del comité A3A01
- La Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE)
- El Secretariado de la Organización Internacional para la Estandarización (ISO) TC-204
- El Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos (IEEE)
- La Administración Federal de Carreteras (FHWA)

- El Instituto Nacional Americano de Estándares (ANSI) X3T6
- Mitre (una compañía contratada por la FHWA para proveer asesoría en diversos aspectos de Sistemas Inteligentes de Transporte)
- Departamentos estatales de transporte "

"Aún cuando se ha visto que varias de estas organizaciones hacen un trabajo repetitivo en algunas partes, se están logrando avances."

"El Comité de Estándares y Protocolos de ITS America, a través de su Subcomité de Comunicaciones, ha trabajado por varios años tratando de definir el problema por medio de una matriz que define las aplicaciones y sus atributos. Este documento está cambiando constantemente tan pronto como surgen nuevas aplicaciones."

"Se recomienda sin embargo, que cuando se esté cerca de lograr un estándar, se debe tener cuidado de protegerse de la obsolescencia prematura del equipo. La arquitectura de un sistema debería considerar sistemas con atributos de confiabilidad, actualización, facilidad de instalación y uso y amplia compatibilidad desde el punto de vista del usuario. Los problemas que le equipo presente deben de ser de fácil diagnostico y reparación y el sistema debe de justificar su costo para su instalación y operación."

4.1.2 El Sistema francés de estándares.

La asociación de agencias encargadas del cobro de cuotas en Francia (USAP Union des Sociétés Francais d'Autoroutes à Péage) acordó en 1993 implementar un sistema estandarizado para los equipos de cobro electrónico de cuotas. Sin embargo, dos de las ocho agencias incluidas en USAP modificaron el acuerdo para permitir, en áreas urbanas, equipo que no cumpliera los estándares nacionales.

La instalación del sistema con el nuevo estándar se haría en cinco años a fin de permitir que los equipos existentes se depreciaran completamente. Se cree que la mayor parte del equipo será reemplazado por equipo con el nuevo estándar aún cuando hay diversos equipos de cobro electrónico tales como los de Amtech, Saab-Scania, Combitech y CGA. Además de la estandarización dentro de Francia, USAP pretende establecer redes de cobro electrónico en España e Italia (Venable et al, 1995).

Las características funcionales y técnicas del equipo para el sistema de cobro electrónico de USAP consideran un sistema de radio frecuencia de lectura y escritura con tarjetas inteligentes, operando a una frecuencia de 5.8 GHz.

4.1.3 El sistema japonés de estándares.

En Japón, la estandarización de etiquetas de identificación para uso automotor se ha investigado como uno de los programas del proyecto de Sistemas Inteligentes de Manufactura (SIM). El SIM es un proyecto internacional a diez años para desarrollar y estandarizar tecnología manufacturera. El Ministerio de Comercio Internacional e Industria del gobierno japonés comenzó al final de 1991 el programa de estandarización. Diseñadores, usuarios e instituciones de investigación forman parte de este programa.

4.1.4 Estándares en Radio Frecuencias.

De acuerdo a venable et al (1995): "Si la compatibilidad externa e interna de los sistemas es una prioridad para la industria y las agencias operadoras de carreteras de cuota, entonces la selección y compatibilidad de los sistemas de radio frecuencia representa retos mayores. Aún cuando existe mucha preocupación por los estándares de radio frecuencia, esto no debería impedir el estudio de otras opciones no basadas en radio frecuencia."

"Cuales radiofrecuencias se escojan tendrá un tremendo impacto en la confiabilidad, flexibilidad, capacidad y una serie de características relacionadas que definirán la extensión y calidad de los avances tecnológicos en el diseño y uso de los sistemas electrónicos de cobro. Los sistemas de cobro electrónico que están en producción o siendo diseñados varían en la selección de frecuencias desde 120 KHz a 5.7 GHz, esto es en todo el espectro de radio."

"Aún cuando el enfoque actual ha sido sobre comunicaciones de corto alcance, podría llegar a usarse comunicaciones de largo alcance con operaciones de radio frecuencia de alto poder. Es aparente que al mejorar la tecnología de cobro electrónico, transmisores de largo alcance y potencia se asociarán a los sistemas de cobro electrónico."

"Los resultados de una encuesta realizada en 1992 por la Asociación Internacional de Puentes, Túneles y Libramientos (IBTTA) a fabricantes y diseñadores de equipo para cobro electrónico mostró que el equipo estaba siendo diseñado para operar dentro de la banda de 902 a 928 MHz. En la primavera de 1993, la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) propuso reglas para el uso de esta banda. La propuesta atrajo más de 1,200 páginas de comentarios. Las respuestas vinieron de operadores amateurs de radio, usuarios de sistemas de radiolocalización, y diseñadores de sistemas de cobro electrónico y discutían como debería asignarse el espectro y si alguna de sus partes debiese o podría ser compartida. "

"La FCC propuso que los sistemas de radiolocalización y los sistemas de identificación automática de vehículos no deberían compartir frecuencias dentro de la banda. Los sistemas de identificación automática deberían autorizarse a 902-904 MHz, 912-918 MHz y 926-928 Mhz. Los sistemas de radiolocalización

continuarían operando a 904-912 MHz y 918-926 MHz. Dentro de las dos bandas de 8 MHz reservadas para los sistemas de radiolocalización, los fabricantes de este tipo de sistemas podrían recibir licencias para operar en las mismas frecuencias."

"Los fabricantes de sistemas usados en el cobro electrónico de peajes y otras aplicaciones de corto alcance están divididos respecto a la propuesta de separarse de los sistemas de localización. Dichos fabricantes han escogido lados dependiendo de que también trabajan sus sistemas dentro de los límites propuestos por la FCC. Algunos fabricantes de equipo para cobro electrónico y de radiolocalización han discutido si los dos tipos de sistemas pudiesen compartir los mismos canales sin causarse interferencia mutuamente."

"La Comisión Europea ha propuesto una conjunto de bandas de frecuencia para su uso en aplicaciones de sistemas de transporte inteligente. Aún cuando los productos comerciales existentes actualmente difícilmente se modificarán en el corto plazo, los nuevos productos podrán desarrollarse para cumplir con los estándares. Un ancho de banda de alrededor de 10 MHz se ha identificado como un requisito general, con hasta 20 MHz necesario para aplicaciones en plazas con varios carriles."

"Para operaciones automáticas de cobro de cuotas, el Comité Europeo de Radiocomunicaciones ha identificado el rango de 5.795 a 5.805 GHz (con una posible extensión a 5.815 GHz). Para aplicaciones futuras, incluyendo radares para evitar colisiones, las bandas de 63 a 64 GHz y de 76 a 77 GHz han sido propuestas. Ya que estas bandas caen dentro de las identificadas para aplicaciones industriales, científicas y médicas, se requerirá un diseño muy cuidadoso a fin de evitar interferencias. Esta directiva para los estados miembros entró en vigor en 1993. "

4.2 Capacidad.

Para Venable et al (1995): "Por varios años, se ha estudiado la operación de las plazas de cobro a fin de determinar el número óptimo de casetas a instalar. Con el uso de sistemas de cobro electrónico, existe la oportunidad de aumentar la capacidad de procesamiento de las plazas. Esto podría reducir el número de casetas necesarias. Además, permitiría que las plazas ya en operación aumentaran el número de vehículos atendidos. Antes de la puesta en operación de un sistema de cobro electrónico, los planificadores deberían evaluar esta tecnología y determinar su efecto en las plazas de cobro."

"Las operaciones de cobro que afectan a los automovilistas pueden revisarse en términos de necesidades de tiempo para el proceso y la interacción. El tiempo de procesamiento se define como el tiempo requerido para desacelerar al llegar al carril de cobro y acelerar al salir de él, es decir el tiempo que el vehículo ocupa la línea de cobro. El tiempo de interacción es el tiempo que necesita el conductor del vehículo para pagar (en efectivo o por cualquier otro método). Un sistema de

cobro electrónico requiere alrededor de 0.1 segundos por transacción (El tiempo que el lector electrónico necesita para leer la tarjeta de identificación del vehículo)."

"Para determinar la configuración ideal de los carriles de una plaza de cobro con barreras se deben considerar tres características básicas: capacidad, relación velocidad-capacidad y la participación esperada de usuarios el sistema de cobro electrónico."

4.2.1. Capacidad de un carril de cobro.

Existen cinco clases básicas de casetas en una plaza de cobro: atendida, automática, de modo mixto, dedicada al cobro electrónico de cuotas (dentro de una plaza de cobro convencional) y de cobro electrónico express. Las casetas atendidas son casetas en las que se maneja todas las operaciones de pago por medio de un operador humano. Las casetas automáticas cuentan con una máquina recolectora y contadora de monedas. Las casetas mixtas combinan el cobro electrónico con la caseta atendida o la automática. Las casetas dedicadas al cobro electrónico de cuotas son casetas que en la plaza de cuota manejan sólo usuarios de cobro electrónico. Las casetas de cobro electrónico express están físicamente separadas de los otros tipos, permitiendo en esta forma el flujo vehicular a velocidades de 90 km/h o superiores. En promedio, la capacidad de las casetas se ven reducidas alrededor del 10 al 20 por ciento cuando se usan barreras en las casetas automáticas.

El Cuadro 4.1 muestra la capacidad de atención de siete clases diferentes de casetas. Es de notarse como se incrementa la capacidad cuando se simplifica el proceso de pago. El cuadro muestra que, dependiendo del acomodo de las casetas, existe el potencial de incrementar la capacidad de una plaza de cobro convencional con el uso de un sistema de cobro electrónico.

Cuadro 4.1
Comparación de Casetas y Capacidades

Clase de caseta	Capacidad en veh/hr
Atendida (Con operaciones de cambio, emisión de recibos, etc.)	350
Atendida (Sólo con distribución de boletos)	500
Automática (Sólo monedas – no fichas)	500
Automática (Básicamente fichas – pocas monedas)	650
Modo Mixto (Cualquiera de las clases anteriores y cobro electrónico)	700
Dedicada al Cobro Electrónico de Cuotas (dentro de una plaza de cobro convencional)	1,200
Cobro Electrónico Express	1,800

Fuente: Humphrey et al, 1992.

4.2.2. Relación velocidad – capacidad.

Resulta evidente que entre más rápido pasen los vehículos por los carriles de cobro, se podrá procesar el pago de un mayor número de vehículos. Utilizando conceptos de ingeniería de tráfico y estudios empíricos, se ha logrado establecer lo que sería el espacio razonable entre vehículos para diferentes velocidades. Por ejemplo, el espacio típico para una velocidad de 16 km/h es 17 m. La densidad sería de 59 veh/km y el volumen correspondiente de 944 veh/h. A una velocidad de 90 km/h el espacio promedio es de 49 m, lo cual se traduce en una densidad de 20 veh/km y un volumen de 1800 veh/h.

Usando la capacidad de atención de las diferentes clases de casetas de cobro, se han determinado las velocidades promedio indicadas en el cuadro 4.2. La velocidad promedio en el carril de cobro se define como la velocidad mantenida una vez que el vehículo para o reduce su velocidad al llegar a la cola hasta llegar al punto en el que se cobra la cuota (Pietrzik y Mierzejewski, 1993). La velocidad promedio para una caseta atendida manualmente es de aproximadamente 4 km/h comparada con una línea express de cobro electrónico en la que se alcanzan velocidades de 90 km/h.

Cuadro 4.2
Velocidad Promedio para Diferentes Clases de Casetas

Clase de caseta	Velocidad promedio Km/h
Atendida	4
Automática	8
Modo Mixto	11
Dedicada al Cobro Electrónico de Cuotas	24
Cobro Electrónico Express	90

Fuente: Pietrzik y Mierzejewski, 1993.

4.2.3. Niveles esperados de participación en un Sistema de Cobro Electrónico de Cuotas.

El nivel real de apoyo para un sistema de cobro electrónico es difícil de estimar. Para las casetas que se destinan exclusivamente al cobro electrónico, la participación de usuarios puede darse sólo en una pequeña proporción y la capacidad de la plaza en realidad disminuir. Un organismo operador de carreteras de cuota desea usar sus líneas de cobro de manera efectiva, logrando el mayor

número de vehículos atendidos con filas de espera mínimas a fin de minimizar congestionamientos en las plazas de cuota (Venable et al, 1995).

Para aclarar este punto, si se considera una plaza con cuatro carriles de cobro que tiene dos casetas manuales (con capacidad de 350 vph) y dos casetas automáticas (con capacidad de 650 vph). La capacidad de la plaza sería (350x2) + (650x2) = 2000 vph. Suponiendo que una de las casetas automáticas es cambiada por una caseta dedicada al cobro electrónico (con capacidad de 1,200 vph). La nueva configuración aumentaría la capacidad de la plaza a 2,550 vph [(350x2)+(650x1)+(1200x1)], o 550 vehículos más que en la configuración original.

El número de vehículos atendidos en la plaza dependerá del nivel de participación de los usuarios en el sistema de cobro electrónico de cuotas. Por ejemplo, si el nivel de participación es de cero (es decir, nadie usa el sistema de cobro electrónico), entonces el número de vehículos atendidos en la plaza sería de 1,350 si un carril se destinará a cobro electrónico [(350x2)+(650x1)+(1200x1x0%)]. En el otro extremo, si todos los usuarios desean usar el sistema de cobro electrónico y sólo hay una caseta disponible, el número de vehículos atendidos sería de 1200 vph (1200x1x100%).

Del ejemplo anterior puede verse que una evaluación cuidadosa de la posible participación de los usuarios en el sistema de cobro electrónico es necesaria cuando se planea este tipo de sistemas. A niveles de participación bajos, el uso de sistemas de cobro electrónico no es una buena decisión.

4.2.4 Otras Preocupaciones.

Para Venable et al (1995): "Existen otras preocupaciones respecto a las casetas de cobro electrónico. Algunos profesionales del área están en contra de instalar casetas dedicadas al cobro electrónico a menos que la proporción de aquellos que usen el sistema sea igual al número de casetas dedicadas. Si en una carretera de cuatro carriles, el 25 por ciento de los usuarios usan el sistema de cobro electrónico entonces se justificaría la instalación de una carril exclusivo. Por otro lado, otros profesionales proponen que el carril exclusivo se instale aun cuando la proporción de usuarios no sea suficiente. Esto beneficiaría a los usuarios del cobro electrónico, reduciendo su tiempo en la plaza de cuota y mostrando a otros usuarios sus beneficios, lo cual podría atraer a nuevos usuarios."

"Otra preocupación es la de que los beneficios asociados con el uso del cobro electrónico pudieran no verse realizados. Si la red carretera está cerca del congestionamiento total y no puede manejar ningún volumen adicional, entonces el uso del cobro electrónico sólo tendrá beneficios marginales. Estos beneficios incluirían un menor manejo de dinero en efectivo y menos ventanas por bajar. "

"Otra preocupación, que afortunadamente afectaría sólo en forma reducida al mercado mexicano, es la de que si dos o más plazas de cobro están cercanas,

entonces habría usuarios que usarían más de una plaza. Si los sistemas de cobro electrónico son compatibles entonces habría un beneficio al reducir los congestionamientos pero, si sólo una de las plazas instalara sistemas de cobro electrónico entonces los beneficios serían limitados por la plaza con sistemas de cobro tradicionales."

4.3 Requerimientos del Sistema.

Cuando una entidad operadora de carreteras de cuota selecciona equipo para su sistema de cobro electrónico deberán considerarse los siguientes requerimientos (Venable et al, 1995):

- Deberá de funcionar con precisión y confiabilidad en cualquier tipo de clima al que esté expuesto.
- 2. Deberá de funcionar con precisión sin importar el tipo de pavimento (concreto reforzado, concreto, asfalto, etc.)
- 3. Deberá de funcionar cuando haya polvo, derrames, vehículos descompuestos y otras condiciones no previsibles de operación en la plaza de cobro.
- 4. Deberá distinguir vehículos separados, aún cuando viajen muy cerca.
- 5. Deberá tener una etiqueta electrónica sellada, que sea resistente a intentos de alteración, humedad, vibración y otros efectos del medio ambiente.
- 6. Deberá decidirse donde colocar la etiqueta electrónica.
- 7. La entidad operadora deberá determinar la ubicación de la antena de lectura: embebida en el pavimento, en un portal o como un rayo dirigido.
- 8. El equipo a usarse deberá ser compacto y que no cause obstrucción visual además de poder adaptarse para otros fines.
- 9. El efecto del equipo en la salud de los usuarios y el personal operativo deberá de ser mínimo.
- 10. Deberá tomarse una decisión respecto a los requerimientos de codificación de la tarjeta electrónica (seguridad, identificación del sistema y del vehículo, etc.), capacidad de almacenamiento, lectura contra lectura – escritura, y fuente de poder (dependiente o independiente del vehículo).
- 11. Se debe determinar los márgenes de error aceptables y los protocolos para corregir los fallas del equipo.
- 12. Se deberá definir las funciones de auditoria y el equipo que estas requieran.

- 13. Se deberá decidir como diseñar la plaza de cobro para incorporar un sistema de cobro electrónico (alto total, sin parar, a flujo libre) de una forma segura y que permita el mejor uso del equipo, reducción de costos, mantenimiento y otros aspectos.
- 14. Se deberá determinar la estructura de pagos para el sistema (pre-pago, pago posterior a las operaciones, transferencia electrónica de fondos) y si el sistema incorporará precios variables o descuentos.
- 15. Se deberá decidir la forma de lograr el pago de las cuotas para los vehículos sin etiqueta electrónica, o que esta opere en forma incorrecta y cuentas con un balance bajo.
- 16. La entidad operadora deberá decidir la tolerancia de error del sistema y si los lectores deberán trabajar en forma independiente o redundante.
- 17. Se deberá decidir como manejar los aspectos de privacidad.
- 18. Se deberá decidir la capacidad del sistema de monitoreo.
- 19. Se deberá decidir como manejará el sistema de cobro electrónico la clasificación de vehículos y que método se usará para verificar dicha clasificación.
- 20. El sistema deberá de ser capaz de leer etiquetas electrónicas en vehículos viajando a una velocidad de al menos 113 km/h.

5. Aspectos diversos.

En este capítulo se discuten algunos aspectos relevantes de los Sistemas de Cobro Electrónico de Cuotas no tratados en los capítulos anteriores. Los aspectos incluidos son privacidad, el uso de periodos de prueba, relaciones públicas y sistemas regionales de cobro electrónico.

5.1 Privacidad.

La privacidad de los usuarios de un sistema de cobro electrónico es una preocupación que aparece frecuentemente al considerar la puesta en práctica de esta clase de sistemas. Las autoridades creen que los usuarios de una carretera de cuota no aceptarán este tipo de sistema si se percibe que servirá para que el gobierno actúe como el hermano mayor que conoce todos y cada uno de los movimientos de los conductores. La gente cree que los sistemas de cobro electrónico amenazan la libertad individual de movimiento ya que la información de los viajes puede ser grabada.

La privacidad de los usuarios puede ser afectada al mantener información para propósitos de cobro y revisión contable y por el uso de sistemas de video para capturar información de violadores del sistema. A algunos usuarios les preocupa que el sistema identifique a las personas en lugares en los que supone no deberían de estar, empleados usando vehículos de compañías para viajes personales o viajes de un conductor de un vehículo prestado equipado con tarjeta electrónica (Venable et al, 1995).

La mayor parte de estas preocupaciones pueden ser resueltas por las autoridades. En primer término, se debe hacer voluntaria la participación en el sistema. Si el sistema de cobro electrónico ha sido voluntariamente aceptado, el usuario estará entonces de acuerdo en cualquier pérdida de privacidad que pudiera ocurrir. En segundo lugar, pueden establecerse cuentas anónimas prepagadas; sin embargo si la tarjeta electrónica se pierde, se perderá también el balance de la cuenta. En tercer lugar, la entidad operadora del sistema puede mantener la privacidad de los usuarios separando los estados contables de las tarjetas electrónicas de las funciones de identificación personal. Finalmente, pueden establecerse carriles para viajes en los que no se desee utilizar el sistema de cobro electrónico. También podrían promulgarse leyes que regularían el tiempo que deberían guardarse y el propósito de los archivos de identificación y establecerían que los archivos de video se usarían sólo para propósitos de lograr el pago de los evasores.

5.2 Pruebas.

Para la puesta en operación de un sistema de cobro electrónico es necesario llevar a cabo una serie de pruebas a fin de lograr un funcionamiento correcto. Las pruebas se utilizan para encontrar los problemas de funcionamiento antes de

iniciar la operación en el sistema completo. Un sistema que no trabaje correctamente puede hacer perder ingresos, aumentar los niveles de congestionamiento y causar molestias a los usuarios. El periodo de prueba es parte del tiempo necesario para seleccionar la tecnología más adecuada, validar la confiabilidad del sistema, determinar las necesidades de mantenimiento, observar la sensitividad a cambios climatológicos, medir la presencia de ondas de radio frecuencia en el lugar y verificar los requerimientos de operación y estándares. Además, el periodo de prueba puede usarse para demostrar los beneficios al público, orientar la distribución de tarjetas electrónicas, la administración de las bases de datos y como manejar las contingencias por fallas del sistema.

Algunas de las pruebas a realizar se listan a continuación; éstas pueden llevarse a cabo en un laboratorio o en el campo (Venable e al, 1995).

- 1. Pruebas de altura (rango de medición entre etiquetas y lectores)
- 2. Pruebas de separación entre las etiquetas y el centro del lector
- 3. Pruebas de temperaturas extremas
- 4. Pruebas de rangos de velocidades
- 5. Pruebas en carriles múltiples (vehículos circulando al mismo tiempo en carriles continuos
- 6. Pruebas para varias etiquetas circulando muy cerca una de la otra
- 7. Pruebas de precisión y confiabilidad
- Pruebas de durabilidad
- 9. Pruebas de interferencia con transmisiones de radio
- 10. Pruebas de recuperación del sistema después de cortes de energía

5.3 Relaciones públicas.

Las relaciones públicas juegan un papel muy importante en determinar si un sistema de cobro electrónico será aceptado o no por el público usuario. Es importante contar con un departamento de mercadotecnia que proporcione información correcta y actualizada frecuentemente. Habrá que vigilar también los aspectos culturales que afecten la puesta en operación de un sistema de cobro electrónico. Aspectos tales como las nociones de justicia o de libertades individuales afectarán la aceptación del cobro electrónico. Un ejemplo de justicia será el conceder el beneficio de la duda al usuario cuando el sistema opere de manera incorrecta (Venable et al, 1995).

5.3.1 Mercadotecnia.

La mercadotecnia es una forma de atraer usuarios a un nuevo sistema de cobro electrónico. Los primeros esfuerzos deberán orientarse a encontrar conductores dispuestos a participar en el sistema. Dividiendo el mercado en dos categorías – usuarios con un objetivo distinto y el público motorista- se podrán identificar segmentos del mercado dispuestos a participar.

Operadores de camiones, taxis y limusinas, autobuses, vehículos de entidades públicas y empresas comerciales son ejemplos de usuarios con un objetivo. Es posible contactar a sus representantes para estimular su participación por medio de esquemas especiales de cobro o facilidades para la obtención de tarjetas electrónicas. El público motorista en general resulta más difícil de identificar y contactar para realizar esfuerzos de promoción.

5.3.2 Propaganda.

La propaganda de un sistema de cobro electrónico puede llevarse a cabo en las plazas de cuota o fuera de ellas. Al realizarse cerca de o en las casetas de cobro, se presenta a una audiencia cautiva cuando ésta está esperando a ser atendida mientras los usuarios del sistema de cobro electrónico pasan sin detenerse. Carteles colocados a un lado de las casetas de cobro pueden informar a los usuarios acerca del proceso para obtener una etiqueta electrónica. Sin embargo, el mejor sistema de propaganda será el éxito mismo del sistema de cobro electrónico.

La propaganda fuera de las plazas de cobro es útil para informar al público en general acerca de las ventajas del uso del cobro electrónico. Para lograr este fin, se puede usar propaganda enviada por correo a grupos identificados como posibles usuarios del sistema. Carteles o panfletos pueden colocarse en las oficinas de control de vehículos y gasolineras. Se pueden también usar los periódicos de mayor circulación, televisión, radio o internet para hacer llegar información a los conductores.

5.4 Sistemas regionales de cobro electrónico.

Fuera de México, el establecimiento de sistemas regionales de cobro electrónico ha recibido mucha atención. La idea consiste en contar con sistemas compatibles dentro de una región de forma tal que se dan ventajas a los conductores de todo tipo de vehículos, se reducen los congestionamientos, se manejan los ingresos de forma más eficiente y se logra un mejor manejo del tráfico.

Las ventajas de un sistema regional en el que se tienen diversas plazas de cuota y se usa sólo una etiqueta electrónica son diversas. Primero, el porcentaje de automovilistas que usarán el sistema de cobro electrónico se incrementará debido a la facilidad de movimiento que se consigue con el uso de estos sistemas. Segundo, los conductores aumentarán probablemente el número de viajes que

realizan cada mes, resultando en una mayor tasa de utilización del sistema que resulta en un costo más bajo por transacción. Tercero, habrá una reducción en los niveles de congestionamiento de las plazas de cuota de la región. Cuarto, puede ser posible retrazar la actualización de las plazas de cuota.

Existen ciertas desventajas para un sistema regional, entre otras pueden mencionarse, que los operadores independientes no tendrán un control total sobre los ingresos y tendrán que aportar ciertos recursos a un fondo común del grupo. Además, los programas especiales que alguno de los operadores considere, tendrán que ser aprobados por el grupo.

Sin embargo, es necesario el contar con sistemas regionales debido a que el uso de más de una tarjeta electrónica puede generar reacciones negativas del público usuario. El contar con más de una tarjeta electrónica resulta costoso para los conductores ya deben pagar por cada tarjeta además de mantener un saldo mínimo en las cuentas. El uso de más de una tarjeta electrónica puede generar también interferencias ya que estos dispositivos necesitan estar suficientemente separados para poder garantizar una operación correcta (Venable et al, 1995).

6. Operación de plazas de cuota.

En este capítulo se describen las funciones requeridas para la operación de un sistema de cobro electrónico en una plaza de cobro. Las funciones incluidas son: vigilancia, mantenimiento, personal, operaciones de tráfico y clasificación de vehículos.

6.1 Vigilancia.

Como en toda actividad que involucra el pago de un servicio, en la operación de una plaza de cobro se requiere contar con vigilancia, dado que algunos conductores tratarán de evitar el pago de las cuotas. Los evasores afectan el ingreso de la entidad operadora y obligan a los conductores honrados a pagar cuotas más altas para cubrir los faltantes (Venable et al, 1995).

Para lograr que la vigilancia sea efectiva, se requiere de un sistema de comunicación, detección y localización. La comunicación entre el vehículo y el lector se requiere para recibir el pago. La detección se requiere para determinar si el vehículo cuenta con una etiqueta electrónica. La localización determina que vehículo requiere ser vigilado e involucra fotografiar sólo a aquellos vehículos que evadan el pago.

En algunos casos, los carriles en las casetas de cobro no cuentan con barreras. Si este es el caso, el equipo de cobro electrónico tendrá que ser capaz de manejar vehículos conducidos hasta 160 km/h.

Existen dos clases de carriles de cobro: aquel en el que los vehículos necesitan parar y aquellos en los que no es necesario detenerse.

6.1.1 Carriles de cobro con parada obligatoria.

Los carriles de cobro con parada obligatoria se ubican en plazas de cobro. La caseta puede contar o no con una barrera. Si se usan barreras, puede no requerirse vigilancia adicional. Las barreras reducen el número de vehículos que pasan por la caseta de cobro aumentando los retrasos ya que se levantan hasta que se realiza el pago. Algunas barreras no se colocan correctamente, permitiendo el paso de vehículos evasores por uno de sus lados. Este problema se resuelve acercando la barrera al lugar de pago. Si no se utilizan barreras, habrá que aplicar medidas adicionales de vigilancia para asegurar el pago.

6.1.2 Carriles de cobro sin parada obligada.

Hay tres clases de carriles de cobro electrónico sin parada obligada: carriles con barreras, carriles especiales antes de la plaza de cobro y carriles de flujo libre.

La primer clase de carril se ubica en una plaza de cobro dedicando un carril a un sistema de cobro electrónico. Esa clase de carril coexiste con los sistemas tradicionales de cobro limitando la velocidad de operación de los vehículos. Su ubicación permite ubicar el equipo para el cobro electrónico en la plaza e informar a los conductores el monto de la transacción y el saldo disponible en sus cuentas.

El segundo tipo de carril sin parada obligada, se coloca unos 115 m antes de la plaza de cobro y se configura para operar a unos 40 km/h. Este carril especial cuenta con equipo de cobro electrónico que valida el pago antes de llegar a la plaza de cobro. Si la etiqueta electrónica no es válida, el vehículo es dirigido por barreras o luces a la plaza de cobro. Los vehículos que cuentan con una tarjeta válida, pasan la plaza de cobro por un carril separado, sin necesidad de detenerse. Esta clase de carril requiere vigilancia por medio de fotografías o video.

El tercer tipo de carril sin parada obligada es el de flujo libre, lo cual significa que no existen barreras u obstáculos al libre flujo de los vehículos. En esta clase de carriles, el equipo de cobro electrónico se coloca sobre o un lado del carril. En esta configuración, no hay ninguna señal externa que notifique al conductor si su etiqueta electrónica es válida. Esta señal puede ser transmitida al interior del vehículo por medio de una luz o sonido. La vigilancia en esta clase de carril se hace por medio de vehículos, cámaras de video o de fotografía.

6.1.3. Clases de violaciones.

Para Venable et al (1995): "Existen cuatro clases de circunstancias de no pago que deben ser tratadas separadamente. Las violaciones se dividen en vehículos sin etiqueta electrónica, con una etiqueta no válida o que no funciona correctamente, saldo insuficiente y con tecnología inválida para el pago de cuotas."

"Es responsabilidad de los conductores de los vehículos que no cuentan con una etiqueta electrónica el salir de los carriles dedicados al cobro electrónico cuando se les indique. De no hacerlo, se asumirá que están realizando un esfuerzo deliberado para no pagar. Ya que el sistema de la vigilancia puede no ser fácilmente visible, el conductor puede asumir que no tendrá que pagar. Cuando se establece un carril dedicado al cobro electrónico, generalmente se fija un periodo de gracia para lograr que los conductores se habitúen al sistema."

"En el caso de etiquetas electrónicas que no funcionen correctamente, el conductor puede no darse cuenta de que hay un problema y deberá dársele el beneficio de la duda. Para informar al conductor del problema, pueden colocarse señales que informen el funcionamiento del sistema. Una etiqueta electrónica puede no funcionar correctamente cuando está mal instalada o no corresponde a la clase de vehículo en el que está colocada."

"Para una cuenta con fondos insuficientes para el pago, se informa al conductor que existe un problema ya sea interna o externamente. Si el conductor ignora el

aviso, se envía el cobro al domicilio señalado en el registro, dándose la oportunidad de pagar sin recargos. Si el conductor ignora repetidamente la señal, se aplican medidas correctivas diferentes."

"El uso fraudulento de la tecnología requiere inmediata atención de las autoridades. De lo contrario, los conductores honestos se verán afectados con costos más altos."

6.1.4 Sistemas de vigilancia de evasores.

Se revisan en este apartado los enfoques técnicos básicos, la obtención de imágenes nítidas, obtención de las imágenes correctas y la identificación de las placas.

6.1.4.1 Enfoques técnicos básicos.

Existen cuatro enfoques para la vigilancia del pago de cuotas. Estos incluyen la presencia de personal de vigilancia, sistemas fotográficos, sistemas de grabación en video y sistemas de captura de imágenes digitales. El primer enfoque requiere la presencia de personal policíaco encargado de levantar multas a los evasores. Aún cuando la presencia visible de esta clase de personal reduce el número de violaciones, su presencia durante las 24 horas del día resulta costosa y poco práctica, además al detener a los evasores a un lado de la carretera el tráfico se ve afectado (Venable et al, 1995).

El resto de los enfoques ya han sido descritos en el segundo capítulo de este reporte.

6.2 Mantenimiento.

Un sistema de cobro electrónico puede programarse para que informe automáticamente cuando se requiera mantenimiento. Existen equipos y programas de computo que pueden realizar un diagnóstico o verificar que el sistema opere correctamente. Puede determinarse el tiempo promedio entre fallas y de esa forma establecer el inventario de partes que ayude a que las fallas afecten un tiempo mínimo. El equipo del sistema puede diseñarse de forma tal que permita un fácil acceso y que las reparaciones se efectúen rápidamente y sin peligro. El sistema puede ser diseñado de forma tal que guarde un historial del uso de partes, fallas y reparaciones. Además , para diagnosticar problemas pueden establecerse puntos en los que una computadora portátil pueda ser conectada al sistema (Venable et al, 1995).

6.3 Personal.

Para Venable et al (1995): "Con frecuencia, cuando se propone la instalación de un sistema de cobro electrónico, el personal que opera la plaza de cobro lo ve con

cierta preocupación. Esta situación no podrá evitarse ya que los empleados se resistirán a cambios que signifiquen la posible reducción de personal. Los directivos de la entidad operadora podrán implementar programas de entrenamiento que capaciten a los empleados en el uso de las nuevas tecnologías y reestructurar las posiciones de forma tal que incluyan actividades en el nuevo sistema de cobro electrónico. Las áreas que preocuparán a los empleados incluyen seguridad en el empleo, seguridad al trabajar, salud y entrenamiento."

6.3.1 Seguridad en el empleo.

La seguridad en el empleo será una preocupación tanto de los empleados actuales como de los solicitantes. Comúnmente, las agencias operadoras de carreteras de cuota reubicarán a los empleados en actividades relacionadas con la operación y el mantenimiento del sistema de cobro electrónico. Cuando el porcentaje de usuarios del sistema de cobro electrónico aumenta, también aumenta el trabajo en las áreas de auditoria y control contable. Habrá, al mismo tiempo, una disminución en el manejo de efectivo. Los planes para la reasignación de personal deberán discutirse con los empleados.

6.3.2 Seguridad al trabajar.

Ya que el uso de carriles dedicados al cobro electrónico puede permitir la circulación de vehículos a altas velocidades junto a carriles atendidos manualmente, los empleados estarán preocupados por su seguridad. Estos deberán ser informados acerca de las medidas tomadas para reducir el riesgo de accidentes. Estas medidas incluyen el uso de separadores especiales o barreras para canalizar el tráfico a las casetas con personal y reducir su velocidad, el uso de señales de mensajes variables indicando los carriles de cobro electrónico, la colocación de señales adicionales para evitar cambios de carril de último momento cuando el vehículo se acerca a la plaza de cobro y hacer que los empleados vistan chalecos que los hagan más visibles.

6.3.3 Salud de los empleados.

Existe preocupación por el efecto de esta nueva tecnología en la salud de los empleados. La preocupación se centra alrededor de la exposición a bajos niveles de ondas electromagnéticas usadas por las antenas y los lectores. Algunos de los reportes en el área han motivado el cambio de ubicación de las antenas, localizando éstas ahora embebidas en el pavimento.

6.3.4 Entrenamiento.

La capacitación de los empleados en un sistema de cobro electrónico es importante para su buen desempeño y participación. La mayor parte de un sistema de cobro electrónico involucra el uso de computadoras. Si los empleados tienen poca experiencia en el uso de computadoras, se sentirán intimidados. Este

tipo de empleados requerirá más entrenamiento para lograr que se sientan a gusto con el nuevo sistema.

6.4 Seguridad en el manejo del efectivo.

Cuando el uso de un sistema de cobro electrónico aumenta, se reducirá el manejo de efectivo en las plazas de cobro. Con esta disminución del manejo de efectivo aumentará la seguridad en la plaza.

6.5 Operación de tráfico.

Las entidades operadoras de las carreteras de cuota tendrán que evaluar los impactos de los sistemas de cobro electrónico en la seguridad del tráfico. Estos sistemas pueden instalarse en las instalaciones existentes o en unas nuevas.

El entendimiento del uso del sistema es una preocupación mayor para la seguridad del tráfico. Los conductores que no entienden como usar el sistema ponen en peligro tanto a ellos mismos como a los operadores de las plazas de cobro. El conocimiento de la configuración y operación de una plaza de cobro muestra la importancia de los sistemas regionales. Las carreteras de cuota deberían usar estándares comunes y operar en forma similar.

Para dar seguridad al circular en la plaza de cobro se deben usar señales de mensajes variables sobre cada carril. También pueden usarse marcas en el pavimento y señales que indiquen los límites de velocidad y canalizaciones (Venable et al, 1995).

6.6 Clasificación de vehículos.

Para Venable et al (1995): "La clasificación de vehículos es un aspecto importante para cualquier sistema de cuota. Esta clasificación puede tomar en cuenta el tipo de vehículo y el número de ejes dentro de cada tipo. Lo anterior significa que la clasificación de cada vehículo que pasa por la caseta de cobro deberá ser verificada. La inexactitud de algunos clasificadores puede resultar en importantes errores. La revisión de estos errores puede requerir mucho tiempo del personal."

"Comúnmente existen dos métodos para determinar cuotas fijas en un sistema de cobro electrónico: para diferentes clases de vehículo (tales como automóviles de pasajeros o camiones comerciales) o para un vehículo único (la etiqueta sirve únicamente para un vehículo). Otro método asigna a un conductor una tarjeta que sirve para cualquier clase de vehículo. En este último caso, la tarjeta va de un vehículo a otro dependiendo de cual se use. Por ejemplo, si el conductor maneja su vehículo al trabajo y en el mismo cambia a un vehículo comercial, podrá seguir usando la misma tarjeta para pagar las cuotas. Esto significa que el sistema deberá de ser capaza de determinar la clasificación de cada vehículo usado en el

sistema. Este método, muy probablemente, generará errores que conducirán a cobros incorrectos."

"Si se usa una tarjeta para una clase de vehículos, una familia podrá cambiar su tarjeta y usarla en todos los vehículos de la misma clase que posea en lugar de obtener una tarjeta para cada vehículo. Este sistema es más eficiente ya que genera un menor número de errores en los cobros."

"Un problema de la tarjeta para una clase de vehículos es el de que al cambiarla de un vehículo a otro podría no ser leída correctamente por el sistema. Esto ocurre por cuando la tarjeta se cambia de lugar puede colocarse incorrectamente o perderse. Cuando se usa un sistema a baja velocidad que indica si la tarjeta es válida, habrá tiempo para colocar correctamente la tarjeta si ésta no fue leída. En un sistema que opera a alta velocidad, no será posible reposicionar la tarjeta, lo cual resultará en ingresos perdidos y posibles notificaciones a los usuarios. Cuando la etiqueta electrónica se usa para un solo vehículo, generalmente la etiqueta se fija al vehículo, con lo cual se logra una mayor precisión en las lecturas. "

7. Costos y beneficios esperados para organismos operadores y usuarios.

Cuando se diseña un sistema de cobro electrónico, una estimación de los costos y beneficios que éste tendrá es un aspecto muy importante. Existe un buen número de agencias encargadas de la operación de sistemas de cuota que están considerando el uso de nuevas tecnologías a fin de reducir los niveles de congestionamiento en las plazas de cobro y satisfacer la demanda esperada. Equipar, operar y mantener carriles con sistemas de cobro electrónico se considera como el método más efectivo si se logra que la utilización de estos carriles sea alta. Un sistema de cobro electrónico reducirá el personal que atiende las casetas y los costos asociados con la impresión y entrega de recibos; sin embargo, estos ahorros se verán reducidos por los costos de operación que significarán la implantación de los nuevos sistemas. Estos nuevos costos incluyen el manejo de las cuentas de los usuarios, la venta de etiquetas electrónicas y costos adicionales de mantenimiento.

7.1 Costos de instalación de un carril con cobro electrónico.

El uso de carriles con cobro electrónico tiene el potencial de reducir trabajos de expansión o reconstrucción de las plazas de cobro y puede reducir también el número necesario de carriles. Esto es un aspecto importante del análisis de costos. Usando los métodos tradicionales de cobro (manual, maquina recolectora de monedas, cupones, pases, etc.), un carril de una autopista debe ampliarse a tres carriles de aproximación y a seis casetas de cobro. Esto es para lograr que la capacidad de la autopista no se vea limitada por la de la plaza de cobro.

Además de los ahorros en costos de construcción o reconstrucción, el costo del equipo de los carriles de cobro electrónico resulta también en ahorros. El cuadro 7.1 muestra el costo del equipo por carril para cada tipo de sistema de cobro.

Cuadro 7.1.
Costo del Equipo por tipo de Carril.

Tipo de carril	Costo del equipo (por carril en dólares Americanos)
Manual	\$58,500
Automático	\$58,000
Manual / Automático	\$107,500
Manual / Cobro Electrónico	\$72,700
Automático / Cobro Electrónico	\$69,500
Manual / Automático / Cobro Electrónico	\$121,300
Cobro Electrónico Exclusivo	\$15,400
Cobro Electrónico Express	\$15,400

Nota. Estas cantidades no incluyen los costos del equipo de computación.

Fuente: Venable et al, 1995.

El equipo de un carril manual incluye un controlador de carril, una terminal manual para el cobro de cuotas, una impresora de recibos, un lector de ranura, una pantalla para desplegar el monto de la cuota, un detector de vehículos de circuito, un clasificador automático de vehículos, una señal luminosa, una caseta de cuota y dos pedales de contacto. El equipo del carril de recolección automática de monedas incluye una maquina recolectora de monedas, dos detectores de vehículos de circuito, una barrera de salida, un semáforo, una señal luminosa y dos pedales de contacto. El carril exclusivo de cobro electrónico incluye un lector electrónico, un controlador, una cámara de circuito cerrado de TV, dos detectores de circuito, un semáforo y una señal luminosa.

Como se aclara en el cuadro, el costo del equipo de computación central y de la plaza no están incluidos en el costo por carril. En 1992, el costo de la computadora para la plaza se estimaba en 124,400 dólares y el de la computadora central en 296,800 dólares. Es de imaginarse que estos costos se hayan reducido debido a los desarrollos en el área. Estos costos no se incluyen debido a que se consideran un costo general para las operaciones de cobro. El costo de los programas de computadora usados en el sistema de cobro electrónico tampoco se incluye ya que depende de los programas adquiridos y del número de carriles que usan estos programas.

Cuando se consideran los costos del sistema, los costos por carril empiezan por cifras muy generales. Cuando el número de carriles considerados se incrementa, el costo por carril decrece, ya que los costos del desarrollo del sistema, programas de computadora y el costo de sistema central se repartirá entre un mayor número de carriles. Por ejemplo, un sistema de una sola plaza con diez carriles puede tener un costo de 50,000 dólares por carril, mientras que un sistema de 100 carriles puede tener un costo entre 20,000 y 25,000 dólares por carril. De esta forma, un sistema de cobro electrónico puede ser más barato por carril conforme se aumenta el número de carriles (Venable et al, 1995).

7.2 Costo de cobrar las cuotas.

Los costos de operación, de los usuarios y ambientales deben identificarse cuando se examinan los costos de un sistema de cobro de cuotas. Los salarios de los operadores, operación de las instalaciones y mantenimiento y el manejo de los ingresos son los costos de operación más importantes. El costo de operación de una plaza de cobro dependerá del número de empleados, su ubicación, número de casetas y el mecanismo de recolección de las cuotas. En un sistema de cobro tradicional, los costos que pagará el usuario por tener que detenerse en la caseta de cobro son el consumo de combustible, desgaste de las llantas, mantenimiento y reparaciones del vehículo, accidentes por alcance y retrasos. Alrededor del 85 por ciento de estos costos están representados por el tiempo perdido al esperar para pagar. En un sistema de cobro electrónico el costo de los usuarios estará asociado a los intereses que generarían los depósitos si se manejan cuentas prepagadas. Los costos por daños al medio ambiente están asociados con el exceso de emisiones y ruido que se genera en las plazas de cuota. Estos costos son difíciles de estimar y pueden reportarse sólo como las cantidades de contaminantes generadas (Venable et al, 1995).

7.2.1 Costos por transacción.

Los costos de un sistema de cobro, se reflejan mejor si establece un costo por transacción. En un sistema de cobro electrónico, el costo por transacción va de 5 a 10 centavos de dólar, dependiendo del tamaño del sistema y el número de usuarios. Los costos para un sistema manual son de alrededor de 9 centavos de dólar por transacción, un estimado que incluye equipo, mantenimiento y costos de auditoria. Si la mitad de las transacciones se procesan en carriles automáticos, el costo promedio por transacción se reduce a alrededor de 6 centavos de dólar.

7.2.2 Etiquetas electrónicas.

Otra parte del costo de un sistema de cobro electrónico, es el correspondiente a las unidades instaladas en el vehículo, que lo identifican de manera única para el sistema. Estimaciones del costo de estas unidades varían de acuerdo al proveedor y las opciones deseadas. Sin embargo, el costo de las etiquetas electrónicas generalmente va de 15 a 50 dólares por cada una, dependiendo en el tipo y

cantidad comprada. El costo por operación para una etiqueta electrónica va de 1 a 3 centavos de dólar por transacción, dependiendo en la tasa de utilización por mes y la vida útil de la etiqueta.

Para repartir las etiquetas entre los usuarios, la agencia operadora puede requerir un depósito, entregar la etiqueta al usuario y hacerle un cargo mensual, cobrar el costo al usuario de inmediato o repartir el costo de la etiqueta cargando al usuario su parte de inmediato o mediante pagos mensuales. Es de esperarse que el método que se escoja afectará el nivel de participación en el programa.

7.2.3 Operación y mantenimiento.

Otra área de ahorros potenciales para las entidades operadoras de los sistemas de cuota está en la operación y mantenimiento del equipo de cobro electrónico. El siguiente cuadro muestra el costo de mantenimiento y operación anual por tipo de carril para instalaciones en los Estados Unidos de América.

Cuadro 7.2.

Costos de Operación y Mantenimiento por tipo de Carril

Tipo de carril	Costo de operación y mantenimiento (por carril en dólares Americanos)
Manual	\$141,900
Automático	\$43,300
Manual / Automático*	\$111,000
Manual / Cobro Electrónico	\$146,100
Automático / Cobro Electrónico	\$47,500
Manual / Automático /Cobro Electrónico*	\$115,200
Cobro Electrónico Exclusivo	\$4,200
Cobro Electrónico Express	\$4,200

^{*}Basado en una operación de 16 horas en forma manual y 8 horas automática.

Nota: Estas cifras no incluyen el costo del equipo de computación.

Fuente: Venable et al, 1995.

La mayor parte de los costos de operación asociados a un sistema de cobro electrónico se relacionan con el manejo de las cuentas y mantenimiento. Los pagos deberán acreditarse, estados de cuenta prepararse y enviarse y costos de correo cubiertos. La posibilidad de hacer cargos a tarjetas de crédito puede reducir

los costos de operación. Debe notarse que el costo por transacción variará dependiendo en el número de operaciones realizadas por mes o ciclo.

7.3 Beneficios para organismos operadores.

Un organismo operador de un sistema de CEC puede esperar, entre otros, los siguientes beneficios de la puesta en operación de este tipo de sistemas (Venable et al, 1995):

- 1. El uso de sistemas de CEC aumenta la capacidad de las casetas de cuota, reduciendo al mismo tiempo las demoras ya que se requiere un menor tiempo por transacción. De acuerdo a Humphrey et al (1992), el número de vehículos atendidos por hora en una caseta de cuota va de 350 en el caso de una caseta con personal que verifica el importe, entrega cambio, emite recibos, etc., a 1200 para una caseta equipada con sistemas de cobro electrónico y barreras. De esta forma el nivel de servicio mejora al reducir congestionamientos.
- Los Sistemas de CEC permiten retrasar la construcción de nuevas casetas de cobro. Esto se traduce en ahorros en adquisición de terrenos, costos de construcción y compra de equipo así como en la contratación de nuevo personal.
- 3. El CEC permite reducir el costo de operación del sistema de recolección de cuotas mediante la automatización de los pagos y la reducción de personal. Incrementa también la seguridad en el manejo de los fondos ya que elimina la necesidad de pagar en efectivo o entregar cambios.
- 4. Los sistemas de CEC pueden mejorar el manejo de los esquemas de descuento cuando estos existen. La identificación única de los vehículos permite detectar aquellos que violen tales esquemas.
- 5. Los sistemas de CEC permiten un mejor control contable de las operaciones del sistema de cobro.
- 6. La participación en esquemas de cobro electrónico puede ser voluntaria, protegiendo así la privacidad de los que no deseen participar en el esquema. Ya que no pueden cubrirse las necesidades de todos los usuarios. Aquellos con un uso poco frecuente de la carretera de cuota podrán continuar en el esquema tradicional de pago. El número de líneas exclusivas para el CEC dependerá del porcentaje de usuarios que participen en el esquema.
- 7. Los proyectos de carreteras de cuota que incorporan sistemas de CEC son más eficientes y dan un mejor servicio a los usuarios.
- 8. Los sistemas de CEC permitirán eliminar otros programas de suscripción tales como los cupones para viajeros frecuentes, pases mensuales, etc. Debido a que los pases o cupones pueden ser falsificados, se permite que algunos

- conductores usen la carretera de cuota sin pagar, provocando esto aumentos en las cuotas que el resto de los usuarios pagan.
- 9. Los sistemas de CEC permiten aumentar las velocidades de circulación en la vecindad de las plazas de cuota; reducir los tiempos de viaje, tanto para usuarios del sistema como para los no usuarios, retrasos y el número de paradas; aumentar la precisión en la predicción del tiempo de viaje; reducir el personal de operación de las casetas de cuota.
- 10. Los sistemas de CEC reducen la emisión de contaminantes en las plazas de cuota al reducir tiempos de espera para pagar y movimientos de arranque y frenado.
- 11.La precisión de los sistemas de CEC es tan alta como un 99.9 por ciento. Además un sistema de CEC puede conducir a un bajo costo por operación ya que si el número de usuarios aumenta el costo por operación se reduce.

7.4 Beneficios para el usuario de un camino de cuota.

El usuario de una carretera de cuota equipada con un sistema de CEC puede esperar los siguientes beneficios (venable et al, 1995):

- 1. Un menor consumo de combustible al no requerir parar para pagar la cuota.
- 2. Para los operadores de una flota de camiones o autobuses existirán ventajas administrativas y de seguridad al no tener que manejar dinero en efectivo.
- 3. Los sistemas de CEC pueden reducir los congestionamientos, ya que el tiempo necesario por operación se reduce, lo que incrementa la capacidad de las plazas de cuota. Los tiempos de espera se reducen.
- 4. Los sistemas de pago de cuotas por medio del cobro electrónico son más convenientes ya que permiten pagar en efectivo, con cheque, tarjetas de crédito o transferencias electrónicas de fondos contrario a los esquemas tradicionales que sólo permiten el pago en efectivo.
- 5. Los usuarios del CEC pueden tener un mejor control de sus gastos en peajes. El estado de cuenta periódico permite revisar las transacciones e incrementar el balance cuando se requiera.
- 6. Si se instalan sistemas de manejo de tráfico junto con el CEC, los usuarios pueden obtener beneficios adicionales por el pago de sus cuotas.

8. Recomendaciones generales para el caso de México y conclusiones.

8.1 Recomendaciones Generales para el caso de México.

Después de analizar las tecnologías existentes para la identificación automática de vehículos, se recomienda que para el caso de México, se utilicen sistemas de radio frecuencia. Tecnologías tales como las de etiquetas láser presentan desventajas que las hacen poco prácticas para su uso en México. En particular, es de mencionarse la facilidad con las que las etiquetas pueden falsificarse, caso más difícil en el caso de etiquetas electrónicas.

Es recomendable también que las tarjetas electrónicas a utilizar en los sistemas de cuota en México sean de lectura y escritura. Aún cuando este tipo de tarjetas sea más caro, las ventajas que presenta respecto a la privacidad y control de las cuentas de los usuarios, las hacen más atractivas para nuevos usuarios ya que éstos no verán afectados sus patrones de viaje al no ser indispensable que se guarde un archivo con sus movimientos.

Por lo que respecta al equipo de clasificación automática de vehículos y de vigilancia, deberá buscarse que aquel tenga una mayor precisión y durabilidad al mejor costo. La instalación del equipo de video para vigilancia deberá considerar las diversas condiciones climatológicas que nuestro país presenta.

Probablemente resulte conveniente, antes de instalar equipos adicionales de cobro electrónico, el esperar a que se establezcan estándares para esta industria. Esto puede resultar en la adquisición de equipo que pueda utilizarse por un mayor tiempo sin el riesgo actual de rápida obsolescencia.

La evaluación tecnológica del equipo a instalar deberá considerar la precisión de operación y durabilidad de los diferentes componentes del sistema de cobro electrónico, así como su compatibilidad con equipos existentes o futuras tecnologías, su periodo de mantenimiento y la disponibilidad de refacciones y personal capacitado para realizar los trabajos de mantenimiento, tanto preventivo como correctivo. El lograr una alta precisión en la operación del sistema será un factor que puede atraer a un mayor número de usuarios. El contar con un mantenimiento rápido y efectivo redundará en ingresos más altos para la entidad operadora, ya que se podrá prestar un mejor servicio a los usuarios.

Contrario a los Estados Unidos y a otros países, México presenta la oportunidad de utilizar una tecnología de cobro electrónico común para todas las carreteras de cuota, estableciendo así un sistema de cobertura nacional. El reducido número de entidades operadoras de carreteras de cuota hace más sencillo el uso de equipos comunes, lo cual redundará en beneficios tanto para la entidad operadora como

para los usuarios. Estos últimos se verían beneficiados ya que podrían usar una sola etiqueta electrónica y establecer cuentas únicas en el ámbito nacional para el manejo de sus pagos por peaje.

Deberá buscarse también, por medio de fuertes campañas publicitarias en donde se hagan notar las ventajas del cobro electrónico, que un mayor número de usuarios utilicen estos sistemas, sin olvidarse que la participación deberá de continuar siendo voluntaria. También deberá buscarse reducir los requisitos para la obtención de las tarjetas electrónicas. El ofrecer un esquema de pago con cuentas prepagadas, por medio de tarjetas similares a las tarjetas telefónicas, pudiera resultar atractivo para usuarios ocasionales de las carreteras de cuota.

8.2 Conclusiones.

A primera vista, las ventajas del uso de un sistema de cobro electrónico de cuotas parecen ser mucho mayores que su costo. El contar con un sistema que reduzca los niveles de congestionamiento en las plazas de cuota y que ofrezca diversas opciones de pago a los usuarios es una de las características más atractivas.

El uso de sistemas de cobro electrónico hace más sencillo el establecimiento de diferentes regímenes de cobro ya sea por tipo o peso de vehículo, hora del día, distancia recorrida o incluso por los niveles de congestionamiento con los que esté operando la carretera de cuota.

Sin embargo, habrá que tener especial cuidado en la selección del equipo, ya que por carecer actualmente esta industria de estándares, se corren riesgos de una rápida obsolescencia del equipo empleado en el sistema de recolección. El costo de instalación de un sistema de cobro electrónico no es bajo y la decisión de instalarlo deberá estar plenamente respaldada por estudios de factibilidad económica que muestren una alto porcentaje de participación de los usuarios. Si se logra una alta utilización del sistema se podrá justificar entonces su actualización cuando se den avances tecnológicos en el área.

Tampoco habrá que dejar de lado el manejo del personal empleado en las casetas de cuota. Con la reducción del número de casetas atendidas manualmente, se reducirá el personal ocupado en esta actividad pero, surgirán nuevas oportunidades de empleo en actividades como mantenimiento del equipo de computo, procesamiento de imágenes de vehículos evasores o manejo de cuentas de los usuarios. Aún cuando estos nuevos empleos requerirán un reentrenamiento del personal, reducirán también el personal despedido.

Referencias.

Automatic Vehicle Classification. http://www.ettm.com/avc.html. Consultado en enero de 2000.

Automatic Vehicle Identification. http://www.ettm.com/avi.html. Consultado en enero de 2000.

Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos (CAPUFE). "Anuario Estadístico 1997". México, 1997.

Directorate General for Transport, European Commission. Trans — European Networks: Prospects for Intelligent Transport Systems, Brussels, Belgium, 1995.

González Soto, Victor Hugo. "Control de Tráfico por medio de Sistemas Inteligentes de Transporte en la Autopista México- Puebla". Tesis de Maestría en Ingeniería en proceso. UNAM. México.

Humphrey, T.F.; Kanaan, A.Y.; and Cunningham, R.F. "Implementation of Electronic Toll Collection and Traffic Management Systems in New England". Transportation Research Record 1359. Transportation Research Board, 1992.

Intelligent Transportation Society of America. "An ETTM Primer for Transportation and Toll Officials". March 1995.

Pietrzyk, M.C.; and Mierzejewski, E.A. "Electronic Toll and Traffic Management (ETTM) Systems". NCHRP Synthesis 194. Transportation Research Board, 1993.

Pietrzyk, M.C.; and Mierzejewski, E. A. "Electronic Toll Collection Systems: The Future is Now". TR News. Número 175, Noviembre –Diciembre de 1994.

Radio Frequency Identification – RFID: A Basic Primer. http://www.ettm.com/news/rfid.html. Consultado en enero de 2000.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). "Modernization of the Main Highway System". October 1998.

Tecno Vial Mundial. "Oklahoma: la próxima generación". Route One Publishing. Julio de 2000. pp. 34-36.

Telepass- Contactless Toll Collection (Italy). http://www.ertico.com/what_its/succstor/telepass.htm. Consultado en octubre de 2000.

United States Toll Facilities. http://www.ettm.com/ . Consultado en septiembre de 2000.

Venable, D. L.; Machemehl, R.B.; and Euritt, M. "Electronic Toll Collection Systems". Research Report 1322-2. Center for Transportation Research. The University of Texas at Austin. May 1995.

Video Enforcement Systems. http://www.ettm.com/ves.html. Consultado en enero del 2000.

Apéndice A. Sistemas de Cobro Electrónico en operación en los Estados Unidos de América

Cuadro A1. Sistemas de Cobro Electrónico en los Estados Unidos de América.

Entidad Operadora o Financiera	Clase de Infraestructura	Nombre	Plazas de Cobro	Carriles de Cobro	Sistema IAV (en Operación/ Esperado) tipo
	•	CALIFORNIA	ı	U	
Compañía Privada de Transporte de California (1996)	Carretera	SR 91	2	6	FASTRAK (12/95) L/E
Departamento de Transporte de	Puente	Puente Antioch (SR 160)	1	3	FASTRAK (Esp. 2000) L/E
California (1997)	Puente	Puente Carquinez (2 Puentes) (I-80)	1	12	FASTRAK (08/97) L/E
	Puente	Puente Dumbarton (SR 84)	1	6	FASTRAK (Esp. 2000) L/E
	Puente	Puente Benicia-Martinez (I-680)	1	9	FASTRAK (Esp. 2000) L/E
	Puente	Puente Richmond-San Rafael(I-580)	1	7	FASTRAK (Esp. 2000) L/E
	Puente	Puente Coronado (SR 75)	1	7	FASTRAK (Esp. 2000) L/E
	Puente	Puente de la Bahía de San Francisco-Oakland (I-80)	1	20	FASTRAK (Esp. 2000) L/E
	Puente	Puente San Mateo- Hayward (SR 94)	1	7	FASTRAK (Esp. 2000) L/E
Distrito de Transporte del Puente y la Carretera Golden Gate (1998)	Puente	Puente Golden Gate	1	11	FASTRAK (Esp. 2000) L/E
Asociación de Gobiernos de San Diego (1999)	Carretera	Interstate 15	1	2	FASTRAK (03/98) L/E
Agencias del Corredor de Transporte (1999)	Carretera Carretera	Eastern Toll Road (SR 241, SR 261, SR 133) Corredor Foothill (SR 241)	26	84	FASTRAK (10/98) L/E FASTRAK (11/93) L/E
	Carretera	Corredor S. Joaquin Hills (SR73)	12	42	FASTRAK (06/95) L/E
	•	COLORADO	•	•	. , ,
Autoridad de la Carretera Pública E- 470 (1999)	Carretera	Extensión SR 470 (E-470)	24	60	EXPRESS TOLL (07/91) L/E
		DELAWARE			
Departamento de Transporte de Delaware (1999)	Carretera	Carretera JFK Memorial (I- 95 & I-295)	1	20	E-ZPASS (11/98) L/E
	Carretera	State Route 1	5	44	E-ZPASS (03/99) L/E

Cuadro A1.
Sistemas de Cobro Electrónico en los Estados Unidos de América. (Continuación).

		co en los Estados Unidos (Plazas	Carriles	Sistema IAV
Entidad Operadora	Clase de	Nombre			
o Financiera	Infraestructura		de Cobro	de	(en Operación/
				Cobro	Esperado) tipo
	T	FLORIDA	Т.	T _	T = = = .
Departamento de	Puente	Puente Navarre	1	2	SUNPASS
Transporte de Florida					(05/99) L/E
(Año Fiscal 1999)	Puente	Pinellas Bayway	3	8	SUNPASS
					(Esp. 2000) L/E
Departamento de	Puente	Sunshine Skyway	2	12	SUNPASS
Transporte de Florida					(Esp. 2000) L/E
(Año Fiscal 1999)	Carretera	Alligator Alley (I-75)	2	10	SUNPASS
		(Everglades Parkway)			(10/99) L/E
	Carretera	Bee Line West	1	16	SUNPASS
Turnpike de Florida		Expressway (SR 528)			(Esp. 2000) L/E
(1999)	Carretera	Sawgrass Expressway	9	53	SUNPASS
		(SR 869)			(09/99) L/E
	Carretera	Turnpike de Florida.	16	118	SUNPASS
		Extensión Homestead			(05/99) L/E
	Carretera	Carril Principal de	32	240	SUNPASS
		Turnpike de Florida			(04/99) L/E
	Carretera	Polk Parkway	8	46	SUNPASS
					(Esp. 2000) L/E
	Carretera	Seminole Expressway	4	24	E PASS (09/96)
		(SR 417)			SUNPASS
		,			(Esp. 2000) L/E
	Carretera	Extension Southern	3	16	E PASS (09/96)
		Connector(SR 417)			SUNPASS
		, ,			(Esp. 2000) L/E
	Carretera	Suncoast Parkway	Under Con	struction	SUNPASS
		_			(Esp. 2000) L/E
	Carretera	Veterans Expressway	7	45	SUNPASS
					(Esp. 2000) L/E
	Puente	Puente Cape Coral	1	14	LEEWAY
Condado Lee (1999		·			(11/97) L/E
•	Puente	Puente Midpoint	1	14	LEEWAY
		Memorial			(11/97) L/E
	Puente	Puente Sanibel-Captiva	1	3	LEEWAY
		•			(11/97) L/E
Departamento de	Puente	Rickenbacker Causeway	N. D.	N. D.	C PASS
Obras Públicas del		-			(N. D.) L/E
Condado de Metro	Puente	Venetian Way Causeway			C PASS
Dade (1997)					(N. D.) L/E
	Carretera	Dolphin East/West	1	10	SUNPASS
Autoridad de la		Tollway (SR 836)			(06/99) L/E
Autopista Miami-	Carretera	Gratigny Parkway (SR	1	17	SUNPASS
Dade		924)			(06/99) L/E
(Año Fiscal 1999)	Carretera	Miami Airport	1	6	SUNPASS
		Expressway (SR 112)			(06/99) L/E
	Carretera	Don Shula Expressway	1	14	SUNPASS
		(SR 874)			(06/99) L/E
Autoridad del Puente	Puente	Puente Mid-Bay (SR 293)	1	4	SUNPASS
Mid-Bay (Año Fiscal					(06/99) L/E
1999)					`
1999)					

Cuadro A1. Sistemas de Cobro Electrónico en los Estados Unidos de América. (Continuación).

Entidad Operadora	Clase de	Nombre	Plazas	Carriles	Sistema IAV
o Financiera	Infraestructura		de Cobro	de Cobro	(en Operación/ Esperado) tipo
	•	FLORIDA	<u>.</u>		
Autoridad de la Autopista de	Carretera	Bee Line Expressway (SR 528)		24	E PASS (03/95) SUNPASS (Esp. 2000) L/E
Orlando/ Condado de Orange (Año Fiscal 1999)	Carretera	Central Florida Greeneway (SR 417)	22	66	E PASS (03/95) SUNPASS (Esp. 2000) L/E
	Carretera	East-West Expressway (SR 408)	20	70	E PASS (03/95) SUNPASS (Esp. 2000) L/E
	Carretera	Western Expressway (SR 429)	5	18	E PASS (03/95) SUNPASS (Esp. 2000) L/E
Condado de Osceola	Carretera	Osceola Parkway	2	8	O PASS (09/95) L/E
Autoridad del Puente de la Bahía de Santa Rosa (Año Fiscal 1999)	Puente	Puente Garcon Point	1	6	SUNPASS (05/99) L/E
Autoridad de la Autopista del Condado de Tampa- Hillsborough (Año Fiscal 1999)	Carretera	Lee Roy Selmon Crosstown Expressway (SR 618)	7	45	SUNPASS (Esp. 2000) L/E
Pueblo de Bay Harbor Islands (Año Fiscal 1999)	Puente	Broad Causeway	1	6	IAV con código de barras laser
		GEORGIA			
Departamento de Transporte de Georgia y Autoridad	Puente	F. J. Torras Causeway	1	4	IAV con código de barras laser (1986)
de Caminos de Cuota del Estado de Georgia (1998)	Carretera	Extensión SR 400	2	18	AMTECH (08/93) S/L
	_	ILLINOIS			
Autoridad de	Carretera	East-West Tollway (I-88)	16	79	I PASS (10/94) L/E
Carreteras de Cuota del Estado de Illinois (1999)	Carretera	North-South Tollway (I- 355)	10	73	I PASS (07/93) L/E
(1999)	Carretera	Northwest Tollway (I-90)	6	12	I PASS (03/98) L/E
	Carretera	Tri-State Tollway (I-94,	23	211	I PASS (10/94) L/E
Autoridad de los	Carretera	KANSAS Kansas Turnpike (I-35, I-	21	103	K-TAG
Turnpike de Kansas (1988)	Carretera	135, I-470, I-70, I-335)	21	103	(10/95) L/E
	Τ_	LOUSIANA	T -	1	1
Comisión de Autopistas de Nueva Orleans	Puente	Lake Pontchartrain Causeway	2	7	TOLLTAG (12/90) L/E
Departamento de Transporte y Desarrollo de Lousiana	Puente	Conexión Crescent City	1	12	TOLLTAG (01/89) L/E

		Cuadro A1. co en los Estados Unidos			
Entidad Operadora o Financiera	Clase de Infraestructura	Nombre	Plazas de Cobro	Carriles de Cobro	Sistema IAV (en Operación/ Esperado) tipo
		MAINE			
Autoridad del Turnpike de Maine	Carretera	Maine Turnpike (I-95, I-195, I-295, I-495)	N.D.	N. D.	TRANSPASS (09/97) E/I
		MARYLAND			
Autoridad del	Puente	Puente Francis S. Key (I-695)		12	M-TAG (04/99) L/E
Transporte de Maryland (1998)	Carretera	Carretera JFK (I-95)	1	12	M-TAG (Esp. 2000) L/E
	Túnel	Túnel de la Bahía de Baltimore (I-895)	1	14	M-TAG (04/99) L/E
	Túnel	Túnel Fort McHenry (I-95)	1	24	M-TAG (04/99) L/E
		MASSACHUSETTS			
Autoridad Portuaria de Massachusetts (1999)	Puente	Puente Maurice J. Tobin	1	7	FASTLANE (11/99) L/E
Autoridad del	Carretera	Massachusetts Turnpike - Western Turnpike (I-90)	17	146	FASTLANE (06/99) L/E
Turnpike de Massachusetts (1998)	Carretera	Turnpike de Massachusetts – Extensión Boston (I-90)	4	44	FASTLANE (10/98) L/E
	Túnel	Túnel Callahan y Sumner	1	10	FASTLANE (10/98) L/E
	Túnel	Túnel Ted Williams (Tercera Bahía)	1	4	FASTLANE (10/98) L/E MASSPASS (12/95)
	1	MICHIGAN			
Corporación de Túneles de Detroit y Canadá	Túnel	Túnel Detroit- Windsor			MARK IV (Esp. 1996)
	1	NEW JERSEY		u e	1
Autoridad de las Carreteras de New Jersey (1997)	Carretera	Garden State Parkway	43	337	E-ZPASS (Parcial 12/99) L/E
Autoridad del Turnpike de New Jersey (1997)	Carretera	Turnpike NJ	27	328	E-ZPASS (Esp. 2000) L/E
Autoridad del Transporte del Sur de Jersey (1998)	Carretera	Expressway de Atlantic City	7	52	E-ZPASS (11/98) L/E
Autoridad de Puertos Ribereños de Maryland (1998)	Puente	Puente Ben Franklin Puente (I-676)	1	13	E-ZPASS (12/99) L/E
Autoridad de Puertos	Puente	Puente Betsy Ross	1	10	E-ZPASS (12/99) L/E
Ribereños de Maryland	Puente	Puente Comodoro John Barry	1	7	E-ZPASS (12/99) L/E
(1998)	Puente	Puente Walt Whitman (I-76)	1	15	E-ZPASS (12/99) L/E

Cuadro A1.
Sistemas de Cobro Electrónico en los Estados Unidos de América. (Continuación).

	Clase de	co en los Estados Unidos Nombre	Plazas de	Carriles	Sistema IAV
Entidad Operadora o Financiera	Infraestructura	Nombre	Cobro	de Cobro	(en Operación/ Esp.)
		NEW YORK			1 = - 6.7
Autoridad Pública del Puente Buffalo – Ft. Erie	Puente	Puente Peace	1	8	E-ZPASS (Esp. 2000) L/E
Puentes y	Puente	Puente Bronx-Whitestone (I-678)	1	22	E-ZPASS (06/96) L/E
Túneles MTA (1997)	Puente	Puente Cross Bay	1	12	E-ZPASS (03/96) L/E
	Puente	Puente Henry Hudson	1	16	E-ZPASS (07/96) L/E
	Puente	Puente Marine Parkway	1	10	E-ZPASS (03/96) L/E
	Puente	Puente Throgs Neck (I-295)	1	21	E-ZPASS (05/96) L/E
	Puente	Puente Triborough (I-278)	2	38	E-ZPASS (08/96) L/E
	Puente	Puente Verrazano Narrows (I-278)	1	22	E-ZPASS (10/95) L/E
	Túnel	Túnel Brooklyn Battery (l- 478)	1	16	E-ZPÁSS (12/96) L/E
	Túnel	Túnel Queens Midtown (I-495)	1	14	E-ZPÁSS (12/96) L/E
Autoridad de Puentes	Puente	Puente Bear Mountain(US 6/202)	1	2	E-ZPASS (05/98) L/E
del Estado de Nueva York (1999)	Puente	Puente Kingston-Rhinecliff	1	2	E-ZPASS (06/98) L/E
	Puente	Puente Mid-Hudson (US 44, NY 55)	1	5	E-ZPÁSS (11/98) L/E
Autoridad de Puentes	Puente	Puente Newburgh-Beacon (I-84, NY 52)	1	8	E-ZPASS (02/98) L/E
del Estado de Nueva York (1999)	Puente	Puente Rip Van Winkle (NY 23)	1	2	E-ZPASS (07/98) L/E
Autoridad Estatal de	Puente	Puente North Grand Island (I-190)	1	6	E-ZPASS (10/93) L/E
Autopistas de Nueva York (1997)	Puente	Puente South Grand Island (I-190)	1	6	E-ZPASS (10/93) L/E
	Puente	Puente Tappan Zee (I-87)	1	13	E-ZPASS (09/93) L/E
	Carretera	NYS Thruway – Main Line (I-87, I-90)	45	280	E-ZPASS (04/95-02/96) L/E
	Carretera	NYS Thruway – Erie Section (I-90)	8	51	E-ZPASS (02/97) L/E
	Carretera	New England Thruway (I-95)	6	73	E-ZPASS (11/95) L/E
	Carretera	NYS Thruway – Niagara Section (I-190 Buffalo- Niagara Falls)			E-ZPASS (12/95) L/E

Cuadro A1. Sistemas de Cobro Electrónico en los Estados Unidos de América. (Continuación).

Entidad Operadora o Financiera	Clase de Infraestructura	Nombre	Plazas de Cobro	Carriles de Cobro	Sistema IAV (en Operación/ Esperado) tipo
		NEW YORK		OODIO	Esperado) tipo
Autoridad de	Puente	Puente Bayonne (SH 440)	1	4	E-ZPASS (06/97) L/E
Puentes de Nueva York y New Jersey (1997)	Puente	Puente George Washington (I-95)	3	31	E-ZPASS (07/97) L/E
	Puente	Puente Goethals (I-278)	1	8	E-ZPASS (07/97) L/E
	Puente	Cruce del Puente Outer (SH 440)	1	11	E-ZPASS (07/97) L/E
	Túnel	Túnel Holland (I-78)	1	9	E-ZPASS (10/97) L/E
	Túnel	Túnel Lincoln (I-495)	1	14	E-ZPASS (10/97) IAV (07/89 sólo para Autobuses) L/E
	•	OKLAHOMA	•	•	•
Autoridad de los Turnpikes de Oklahoma (1997)	Carretera	Turnpike Cherokee (US 412)	7	28	PIKEPASS (09/91) S/L
· · · · · ·	Carretera	Turnpike Chickasaw	1	6	PIKEPASS (09/91) S/L
	Carretera	Turnpike Cimarron (US 412)	5	20	PIKEPASS (01/91) S/L
	Carretera	Turnpike Creek	7	30	PIKEPASS (07/92) S/L
	Carretera	Turnpike Muskogee (SR 165)	5	24	PIKEPASS (01/91) S/L
	Carretera	Turnpike Turner (I-44)	9	41	PIKEPASS (01/91) S/L
	Carretera	Turnpike Will Rogers (I-44)	7	43	PIKEPASS (01/91) S/L
	-	PENNSYLVANIA	ı		•
Comisión de los Turnpikes de	Carretera	Beaver Valley Expressway	5	24	E-ZPASS (Esp. 2000-02) L/E
Pennsylvania (Año Fiscal 1999)	Carretera	Greensburg Bypass	5	24	E-ZPASS (Esp. 2000-02) L/E
	Carretera	Monvalley Expressway	3	16	E-ZPASS (Esp. 2000-02) L/E
	Carretera	Turnpike Pennsylvania	31	156	E-ZPASS (Esp. 2000-02) L/E
	Carretera	Extensión Noreste del Turnpike Pennsylvania	10	46	E-ZPASS (Esp. 2000-02) L/E
]		<u> </u>

Cuadro A1. istemas de Cobro Electrónico en los Estados Unidos de América. (Continuación).

		co en los Estados Unidos d			
Entidad Operadora o Financiera	Clase de Infraestructura	Nombre	Plazas de Cobro	Carriles de Cobro	Sistema IAV (en Operación/ Esperado)
		PUERTO RICO			
Autopistas de Puerto Rico y Compañía SE	Puente	Puente Teodoro Moscoso	1	10	AMTECH (02/94)
Autoridad del	Carretera	PR 22	6	69	Tiene un Requerimiento
Transporte y Carreteras de Puerto Rico	Carretera	PR 52	5	73	para Propuestas para el Sistema
TUOO	Carretera	PR 53	5	42	
		SOUTH CAROLINA			
Departamento de Transporte de Carolina del Sur (1999)	Carretera	Cross Island Parkway	3	11	PALMETTO PASS (3/98) L/E
		TEXAS			
Autoridad de	Puente	Puente del canal Marino Sam Houston	N. D.	N. D.	EZ TAG (10/92) S/L
Caminos de Cuota del Condado de Harris (1995)	Carretera	Hardy Toll Road	N. D.	N. D.	EZ TAG (10/92) S/L
1141113 (1993)	Carretera	Sam Houston Tollway	N. D.	N. D.	EZ TAG (10/92) S/L
Autoridad de	Túnel	Túnel de Cuota del Aeropuerto de Addison		6	TOLLTAG (1999) S/L
Carreteras de Cuota del Norte de Texas	Carretera	Dallas North Tollway	3	81	TOLLTAG (07/89) S/L
(1998)	Carretera	President George Bush Turnpike	17	73	TOLLTAG (1999) S/L
	1	VIRGINIA	I .	1	
Autoridad	Puente	Boulevard Puente (SR 161)		6	SMART TAG (08/99) L/E
Metropolitana de Richmond (1998)	Carretera	Downtown Expressway (SR 146, SR 195)	4	22	SMART TAG (07/99) L/E
	Carretera	Powhite Parkway (SR 76)	2	27	SMART TAG (07/99) L/E
Sociedad de Inversión en Caminos de Cuota II (1999)	Carretera	Dulles Greenway (SR 267)	11	34	SMART TAG (05/96) L/E
Departamento de Transporte de Virginia (1999)	Puente	Puente Coleman	1	5	SMART TAG (08/96) L/E
	Carretera	Camino de Cuota Dulles (SR 267)	20	57	SMART TAG (04/96) L/E
	Carretera	Extensión del Powhite Parkway (SR 76)	4	28	SMART TAG (07/99) L/E
	•	WEST VIRGINIA		•	•
Autoridad para el Desarrollo Económico de Carreteras y Turismo de West Virginia	Carretera	West Virginia Turnpike	4	36	E-ZPASS (12/1999) L/E

N. D. No disponible.

L/E Identificación automática de vehículos con lectura y escritura.

S/L Identificación automática de vehículos de lectura únicamente.

E/I Identificación automática de vehículos con etiqueta inteligente.

Fuente: United States Toll Facilities. (http://www.ettm.com/).

Cuadro A2.

Participación en el mercado de identificación automática de vehículos por número de carriles instalados.

Proveedor	Número de Carriles Instalados	Participación en el Mercado
Mark IV	2115	66%
Amtech	766	24%
Sirit	208	6%
AT/Comm	122	4%
Total	3211	

Fuente: United States Toll Facilities. (http://www.ettm.com/).

Cuadro A3.

Participación en el mercado de integración de sistemas por número de carriles instalados.

Proveedor	Número de Carriles Instalados	Participación en el Mercado
Amtech	548	30%
Transcore	472	26%
NYSTA	405	23%
Lockheed	138	8%
Cubic	88	5%
IBM	85	5%
Gulf Systems	19	1%
MFS	10	1%
Planning Research	14	<1%
Total	1779	

Nota. No todos los sistemas han sido encuestados.

Fuente: United States Toll Facilities. (http://www.ettm.com/).

Apéndice B. Sistemas de Cobro Electrónico en operación en México

Cuadro B1. Sistemas de Cobro Electrónico en México.

Entidad Operadora o Financiera	Clase de Infraestructura	Nombre	Plazas de Cobro	Carriles de Cobro Electrónico	Sistema IAV (tipo)
CAPUFE	Carretera	Cuernavaca - Acapulco	7	11	IAVE S/L
Zona Centro- Sur	Carretera	México-Cuernavaca- Iguala	7	22	IAVE S/L
Cuernavaca, Mor.					
	Carretera	Cordoba - Veracruz	2	4	IAVE S/L
	Carretera	Fortin	1	6	IAVE S/L
CAPUFE	Puente	Panuco	1	2	IAVE S/L
Zona Golfo Veracruz, Ver.	Puente	Alvarado	1	2	IAVE S/L
	Puente	Nautla	1	2	IAVE S/L
Veraciuz, ver.	Puente	Tecolutla	1	2	IAVE S/L
	Puente	Tampico	1	2	IAVE S/L
	Puente	Tlacotalpan	1	2	IAVE S/L
	Carretera	La Tinaja -Acayucan	2	4	IAVE S/L
CAPUFE Zona Sur-Este Coatzacoalcos, Ver.	Puente	Coatzacoalcos	1	4	IAVE S/L
	Puente	Papaloapan	1	2	IAVE S/L
	Puente	Caracol	1	2	IAVE S/L
	Puente	Grijalva	1	2	IAVE S/L
	Puente	Usumacinta	1	2	IAVE S/L
	Puente	A. Dovalí Jaime	1	4	IAVE S/L
CAPUFE	Carretera	Guadalajara -	1	2	IAVE S/L
Zona Occidente		Zapotlanejo			
Guadalajara, Jal.					
CAPUFE	Carretera	Estación Don - Nogales	6	12	IAVE S/L
Zona Pacífico	Puente	Culiacan	1	2	IAVE S/L
Culiacán, Sin.	Puente	Sinaloa	1	2	IAVE S/L

Cuadro B1.
Sistemas de Cobro Electrónico en México. (Continuación)

Entidad Operadora o Financiera	Clase de Infraestructura	Nombre	Plazas de Cobro	Carriles de Cobro Electrónico	Sistema IAV (tipo)
CAPUFE Zona Nor-Oeste Tijuana, B.C.	Carretera	Playas de Tijuana – Puente San Luis Rio Colorado	5	6	IAVE S/L
CAPUFE Gerencia de Tramo Tepic – San Blas	Carretera	Compostela	1	2	IAVE S/L
CAPUFE Zona Centro- Norte Querétaro, Qro.	Carretera	México - Querétaro- Salamanca - La Piedad - Polotitlan	7	30	IAVE S/L
CAPUFE Zona Centro- Oriente Puebla, Pue.	Carretera	México-Puebla- Esperanza	7	30	IAVE S/L
CAPUFE Gerencia de Tramo Cuanopalan- Oaxaca	Carretera	Tehuacan -Oaxaca	4	8	IAVE S/L
CAPUFE	Carretera	Tizayuca –San Cristobal	2	4	IAVE S/L
Subdelegación Regional Tizayuca	Puente	Tuxpan	1	2	IAVE S/L
CAPUFE Gerencia de Tramo Arriaga- Huixtla	Carretera	Arriaga -Huixtla	2	4	IAVE S/L
CAPUFE Subdelegación Regional Chihuahua	Puente	Paso del Norte	1	2	IAVE S/L
CAPUFE Zona Nor-Este Reynosa, Tam.	Puente	Matamoros	1	2	IAVE S/L
	Puente	Camargo	1	2	IAVE S/L
	Puente	Reynosa	1	3	IAVE S/L
	Puente	San Juan	1	2	IAVE S/L
	Puente	Juárez -Lincon	1	2	IAVE S/L
	Puente	Cadereyta	1	2	IAVE S/L

S/L Identificación automática de vehículos de lectura únicamente.

Fuente: Elaboración propia con información de la Unidad de Autopistas de Cuota. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.