

**XIX REUNIÓN NACIONAL DE INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES**  
**“MOVILIDAD, FACTOR DETONANTE PARA EL PROGRESO DE MÉXICO”**

**OPERACIÓN DE TÚNELES CARRETEROS**

**ING. CARLOS BENJAMÍN MENDEZ BUENO**

**VICEPRESIDENTE DE ICA, VICEPRESIDENTE DE ICA INFRAESTRUCTURA**

**EMPRESAS ICA.**

*El autor cede los derechos de publicación de este documento a la Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres, A.C.*

**1. INTRODUCCIÓN.**

Me place compartir con ustedes algunas experiencias que en el plano operativo hemos tenido en el Túnel Acapulco.



**FIGURA 1.- Portal México Túnel Acapulco**

El túnel Acapulco inició operaciones en noviembre de 2006 y se ha mantenido en operación de manera ininterrumpida hasta estos días.

La operación de infraestructura carretera de túneles tiene dos ramas, una es la recuperación de la inversión que se efectúa a través de gestionar una Plaza de Cobro y la segunda es la Atención al Usuario, que por los riesgos que le acompañan en su tránsito por este tipo de estructuras convierte a la “Operación de Túneles” en una actividad muy especial y con alto grado de complejidad.

En efecto existen riesgos reales **para** el usuario, tales como la posibilidad de estar involucrado en un accidente en un lugar que limita su retiro del sitio para ponerse a salvo o la inexistencia de acotamientos, así como riesgos imaginarios **del** usuario, como fobias al enclaustramiento.

Reales o imaginarios, los riesgos son considerados de suma importancia en la planeación de la operación.

Pasemos a identificar los requerimientos de Equipamiento, Personal para operarlo e Insumos necesarios.

## 2. EQUIPAMIENTO.

El equipamiento de operación se divide en “Sistema de Control del Túnel” y “Sistema de Registro Vehicular”.

El equipamiento denominado “Sistema de Registro Vehicular” o por sus siglas “SRV”, está diseñado para controlar el ingreso. Para un túnel, el SRV no es diferente al de otros sistemas carreteros ya que gestiona el cobro de peajes.

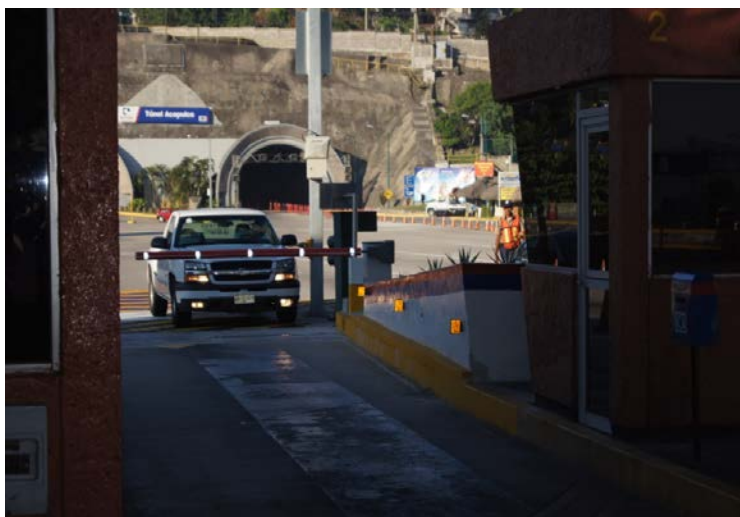


FIGURA 2.- Plaza de cobro Túnel Acapulco

Con una variedad de dispositivos electrónicos y electromecánicos identifica la categoría o grupo genérico del vehículo. Hay sensores de presencia metálica, comúnmente conocidos como lazos magnéticos, cortinas ópticas, dispositivos cuenta ejes que también identifican la doble rodada, videograbación inteligente y otros más, y con un software que de manera automática, asocia la tarifa correspondiente.

También, con un proceso automatizado, compara el tipo de vehículo detectado, con el tipo de vehículo clasificado por el cobrador de peajes.

Esta comparación automatizada, corrobora una actividad adecuada del cobrador o evidencia discrepancias, generando alarmas y especificando el motivo, requiriendo que el evento sea revisado por el personal de supervisión, tanto con registros de datos como con registros en video.

El software del equipo SRV genera registros para resguardo de datos de ingresos tanto si el cobro se efectúa de manera manual, por el cobrador, así como si el pago se efectúa por medios electrónicos ya sea con tarjetas de proximidad o con telepeaje.

Aunque el equipo SRV y el control de ingresos de un Túnel es igual al de otras vialidades, la diferencia en el manejo de la Plaza de Cobro de un Túnel estriba en la necesaria eliminación de las "colas" provocadas por la acumulación de tráfico. La espera de vehículos para pago no debe generar detenciones en el interior de un túnel por los riesgos inherentes a un espacio confinado.

Lo anterior hace que la cantidad de carriles de cobro de la Plaza de Peaje de un túnel, esté en función a la capacidad del cono de aproximación, medido desde el portal de salida del túnel y hasta la transversal generada por las cabinas de cobro, lo que de manera natural hace imperativo el uso de sistemas de cobro automatizados y telepeaje a fin de evitar se formen filas de usuarios dentro del túnel.



FIGURA 3.- Control de filas de espera para pago.

Por otro lado, el equipamiento de Atención al Usuario que es lo que denominamos genéricamente Sistema de Control del Túnel, proporciona la capacidad de gestionar las instalaciones del túnel con dos objetivos:

- Supervisar y gestionar el flujo vehicular.
- Supervisar y gestionar el funcionamiento del equipamiento de la infraestructura.



FIGURA 4.- Sistema de Control de Tráfico

La gestión en ambos casos significa la posibilidad de modificar desde el centro de control tanto las características del flujo vehicular que pasa por el túnel, como modificar las características físicas del medio ambiente dentro del túnel.

El Control de Flujo Vehicular se obtiene al gestionar, desde el centro de Control del Túnel, los paneles de mensaje variable que existen como aviso al usuario respecto a indicadores de velocidades, indicadores de desviaciones o cierre de carril, indicadores de sentido de circulación de carril e indicadores de precaución.

La supervisión se lleva a cabo desde el Centro de Control del Túnel, observando de manera continua y en toda su longitud las diversas secciones del túnel y las circulaciones por gases de acceso. Se utilizan equipos de comunicación con el usuario.



FIGURA 5.- Centro de Control del Túnel

Para evidenciar el comportamiento del flujo vehicular se tienen "Sensores de velocidad" en 4 puntos dentro del túnel, lo que proporciona información para abrir al tráfico un número adecuado de carriles de cobro, evitar las filas dentro del túnel y efectuar cambios de dirección de circulación de los carriles.

El control de características físicas del medio ambiente al interior del Túnel se obtiene al gestionar, desde el Centro de Control del Túnel, la adquisición de datos de visibilidad u opacidad del aire, velocidad y dirección del flujo de aire así como concentraciones de monóxido de carbono.

También los niveles de iluminación se conservan en el nivel de operación establecido tanto en las zonas de transición cercanas a los portales de como en la zona media del túnel encendiendo o apagando las luminarias.



FIGURA 6.- Vista del interior túnel, zona de transición.

### 3. PERSONAL.

Para operar el equipamiento se requiere personal las 24 horas los 365 días del año en tres frentes. Un equipo opera el Sistema de Registro Vehicular y maneja los ingresos, un segundo opera los Sistemas de Control del Túnel y un tercero proporcionan el mantenimiento. Cada equipo de trabajo requiere especialistas de diversas ramas.

El personal que opera el Sistema de Registro Vehicular requiere competencias orientadas a la administración de bienes, control de flujo de efectivo y transacciones bancarias, así como habilidades para el manejo del sistema de registro vehicular. Está formado por Supervisores de ingresos, jefes de turno y cobradores de peaje. Este personal está capacitado en identificación de moneda de curso legal así como en manejo de situaciones de riesgo como asaltos, riñas y secuestros.

Para el equipo que opera el Sistema de Control del Túnel, sus competencias están orientadas a la seguridad, especialmente para trabajos en espacios confinados, operación de vialidades, protección civil, teoría de las conflagraciones, materiales químicos peligrosos, atención de emergencias. Tiene capacitación y ha desarrollado habilidades para el manejo del Sistema de Control del Túnel.

El equipo de personal de mantenimiento también es diverso. Se requiere un equipo para dar mantenimiento preventivo y correctivo al Sistema de Registro Vehicular y al Sistema de adquisición de datos de estado ambiental dentro del túnel. El personal actúa al momento, de manera que estén atendidos los problemas en máximo 2 horas.



Otro equipo de mantenimiento está para la atención electromecánica. Da servicio a los sistemas de energía ininterrumpible, sistemas hidroneumáticos, iluminación y ventilación.

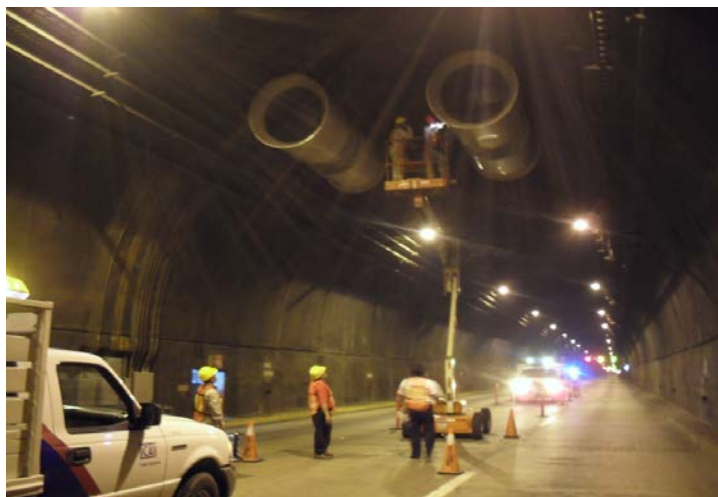


FIGURA 7.- Trabajos de mantenimiento.

El mantener en funcionamiento los servicios dentro del túnel es un gran reto y significa un gran logro ya que no es fácil mantener en operación durante las 24 horas y de manera constante durante años, los equipos electromecánicos de adecuación del medio ambiente dentro del túnel para proteger la vida de los usuarios.

#### **4. ATENCIÓN A EMERGENCIAS.**

El personal requiere claras líneas de actuación para cuando se genera un Incidente, es decir, cuando la situación de normalidad cambia y es necesario ejecutar una o varias acciones con uno o varios equipos de trabajo. Le llamamos Protocolo de Actuación a la serie de actividades que deben ejecutarse para regresar al estado de normalidad.

En el evento de que los sensores de medio ambiente identifiquen alguna anomalía, el software tiene la capacidad de ejecutar acciones que coadyuven a regresar al estado de normalidad al medio ambiente del túnel.

No obstante lo anterior, el Protocolo de Actuación también puede ejecutarse de manera manual, para que el personal opere los controles de la señalización dinámica, ventiladores, iluminación, y todos los demás, lo cual es no solamente opcional sino trascendental para el cuidado de la vida de los usuarios.

En el evento de que un accidente genere un incendio que provoque una inusual concentración de humo con la que los sensores del Sistema de Control del Túnel en que la detección detone de manera automática la actividad de los ventiladores para acelerar el flujo de aire en el sentido del flujo previo, esta acción pudiera resultar contraproducente pues al incrementar la velocidad del flujo de aire, con más oxígeno la conflagración puede crecer. O mandar el flujo de humo hacia personas con el consecuente daño.



FIGURA 8.- Humo por conflagración

Lo mismo acontece con el manejo del flujo vehicular. Las concentraciones de tráfico en uno u otro sentido requiere generar secciones de adelantamiento, e incluso en caso extremo, los carriles deban cambiar su sentido de circulación a todo lo largo del túnel. El poner en práctica el protocolo de Actuación de manera segura requiere del juicio del operador del Centro de Control del Túnel.

Para la atención de incidencias dentro del túnel es necesario contar con un Sistema contra Incendios, generalmente a base de Hidrantes.

##### **5. OPERACIÓN SUSTENTABLE.**

Hay algunos túneles que por sus características hidrológicas aportan flujos importantes de agua, por tanto, la captación de agua para los servicios sanitarios, limpieza y riego de áreas verdes, se hace a través de la conducción y almacenamiento del gasto de las filtraciones. El caso del Túnel Acapulco es claro ya que el gasto promedio durante el año es de 1.78 litros por minuto, agua que llena el depósito de 108,000 litros. Por tanto, para servicio hidráulico no utiliza la toma municipal.

Así mismo, el contar con una planta de tratamiento cierra el círculo de la utilización responsable del agua, depositando a la red municipal un agua residual con características adecuadas.

El gasto de energía eléctrica necesaria para hacer funcionar los motores de los ventiladores es de consideración, sin embargo, el gasto más importante en cuanto a insumos, es sin duda, el consumo de energía eléctrica utilizada para iluminación dentro del túnel.

Es de llamar la atención que a diferencia de otras infraestructuras viales, en los túneles se utiliza más energía eléctrica en el día que en la noche, lo anterior provocado porque en la sección de túnel próxima a los portales, la iluminación artificial del túnel debe ser más intensa

en el día para compensar disminución de luz solar para el ojo del usuario. El ajuste hora por hora de la intensidad lumínica proporciona ahorros de importancia en este rubro, manejo en el que interviene también la mano experta del personal del Sistema de Control del Túnel.



FIGURA 9.- Vista del inicio del túnel de día e iluminación artificial.



FIGURA 10.- Vista del inicio del túnel de noche e iluminación artificial.

Fuera el túnel las condiciones ambientales son diferentes, por lo que la operación se orienta a compensar las diferencias e interrelacionarse de una manera amable con el medio ambiente que rodea al túnel.

Este trabajo de adecuación es constante y arduo ya que las condiciones medioambientales del exterior cambian constantemente. Durante el día, la iluminación en intensidad; y día y noche la calidad del aire, traducida en velocidad y dirección del viento, con claridad u opacidad del aire, bruma y temperatura.

Habiendo varios túneles en una misma autopista, las características del medio ambiente seguramente serán diferentes y por tanto su operación también debe variar.



La constante es que la capacidad de los operadores del túnel explotando al máximo las capacidades del equipamiento, reducen al mínimo el costo, dando el máximo de seguridad al usuario.

Así mismo, es imprescindible la coordinación con las autoridades e instituciones privadas para el apoyo de los servicios de emergencia locales. Con la identificación de los focos de riesgo inicia el Plan de Protección Civil de cualquier proyecto, pero en un túnel se magnifica por las características de concentración de los detonadores de incidentes haciendo que la actividad de mitigación sea de gran importancia para prever daños a personas, vehículos y el propio túnel.

## **6. SEGURIDAD LABORAL.**

El Índice de Frecuencia de seguridad laboral OSHA de los Estados Unidos de América es un indicador numérico que evidencia el grado de peligrosidad para los trabajadores de operación y mantenimiento. Su cálculo integra la cantidad de accidentes laborales graves en relación a las horas hombre trabajadas.

En la estadística del 2010 el índice de frecuencia de las empresas de operación de vías de comunicación ya es igual que para las empresas de construcción, años antes era mayor. Por tanto la peligrosidad para el personal es la misma no obstante las obras de construcción tienen un espacio delimitado con acceso restringido y en la operación de autopistas los visitantes circulan a altas velocidades, lo que en caso de un túnel con limitaciones de espacio, hace que el personal esté mayormente expuesto.

Por tanto, la seguridad del personal operativo y de mantenimiento es un tema de muy intenso seguimiento con capacitación y supervisión constantes, clave para reducir riesgos.

## **7. SEGURIDAD VIAL.**

Todos los conceptos desestabilizadores para la buena conducción se encuentran en un túnel, la multicitada característica de confinamiento, aunada a la inexistencia de acotamientos, más las fobias del conductor, hacen que el análisis científico de la accidentalidad vial comúnmente usado para carreteras, en un túnel tenga que estructurarse con más variables, interviniendo tanto la óptica como la psicología.

El concepto europeo de “las autopistas que perdonan”, en referencia a que los espacios a los lados del camino estén libres de obstáculos para evitar daños a los vehículos y por tanto a los conductores que lleguen a despistarse, en un túnel es impensable. Por el confinamiento y la circulación en contra, cualquier evento tiene consecuencias. La responsabilidad del ente operador es analizar, descubrir y eliminar o coadyuvar para eliminar la causa raíz del evento.



FIGURA 11.- Vista de falta de acotamientos.

## 8. MERCADOTECNIA.

Como cualquier negocio es necesario promoverlo para motivar su uso. El túnel, aún en estos tiempos todavía una gran cantidad de personas lo consideran como espacio peligroso con concentraciones de monóxido de carbono que afectan al conductor. Esta percepción de inseguridad se debe eliminar y para ello es necesario establecer campañas de apreciación de instalaciones seguras, con base en difundir que las condiciones ambientales dentro del túnel están controladas y monitoreadas las 24 horas y se cuenta con equipamiento para identificar y solucionar cualquier anomalía oportunamente.

La aparición de representantes del Túnel en ferias y exposiciones como un prestador de servicios más de la localidad, es uno de los canales más importantes para transmitir confianza. Así mismo, los convenios con otros prestadores de servicio para intercambio de bienes y servicios teniendo como beneficiario al usuario, integra al túnel como parte activa e interesada en el progreso local siendo también un detonador de confianza y por supuesto de atracción de clientes.

## 9. EL FUTURO.

La operación de túneles es tema de actualidad en la Ingeniería de Caminos por la gran cantidad de iniciativas de mejora, provocadas tanto por diversos eventos catastróficos más o menos recientes, como por los adelantos de la ciencia y la tecnología en general.

La investigación en la tecnología Leds está avanzando a pasos agigantados, año con año salen al mercado luminarias con las que se vislumbra un futuro prometedor basado en una larga vida útil, bajos costos de mantenimiento y reposición así como mínimo costo de operación.

Con la cuarta generación de luminarias Leds se tienen ahorros de energía nunca antes vistos y con la utilización de material de soporte a base de aluminio se espera tengan vida útil de 120,000 horas, cuando en 2011 la garantía llegaba a 70,000 horas, ambos conceptos elementos de peso para validar la inversión.

Los avances en la óptica de difusores ha revolucionado el mercado con la apertura del haz de luz, la eliminación del deslumbramiento y se ha reducido sustancialmente el efecto de “zebreado”.



FIGURA 12.- Iluminación de túnel

En el área de comunicaciones también se han tenido avances. Es de primordial importancia que desde el Centro de Control sea posible de dar instrucciones a los usuarios que estén dentro del túnel en el caso de un evento catastrófico. El sistema de megafonía seccionada que consta de altavoces de alta nitidez en tramos específicos, que pasan la normativa europea CE 54/2004; es un concepto novedoso y relativamente sencillo de adicionar a los túneles en operación y necesaria su inclusión en los proyectos nuevos.

Existen aplicaciones sobre fibra óptica para evidenciar la temperatura a la que es sometida. La fibra óptica se convierte en un sensor que a lo largo del túnel tiene la capacidad de identificar la temperatura irradiada por algún evento catastrófico. La observación de las características de la expansión del fuego es determinante para la toma de decisiones de los que van a entrar a la zona de peligro pues la interpretación de la gráfica de temperaturas hace posible identificar la manera más segura para acercarse al evento, retirar heridos y apagar el fuego.

Para las áreas de riesgo extremo se requiere considerar Nebulizadores, que bien pueden actuar sustituyendo a los hidrantes para extinguir fuego, el sistema es muy útil para generar una barrera física que confina el calor, creando zonas seguras cercanas a la conflagración protegiendo tanto a los usuarios como al personal de apoyo a la emergencia.

Las aplicaciones de cómputo que analizan imágenes para identificar eventos fuera de lo normal en las vías de comunicación, es un apoyo de gran impacto en la operación de túneles ya que detonan alarmas al identificar conductas prohibidas tanto de vehículos como de personas.

El uso de galerías de comunicación entre túneles gemelos es un concepto que recomienda la Norma Americana NCPA502, que indica proyectar y ejecutar a cada 500 m galerías de conexión. En el proyecto Nuevo Necaxa–Tihuatlán por su longitud, tres de los seis túneles tienen galerías de interconexión.



FIGURA 12.- Autopista Nuevo Necaxa - Tihuatlán

La posibilidad de dotar a los túneles de un sistema que integre la actuación global de los mecanismos electromecánicos y electrónicos de la totalidad de los equipamientos, sistemas de control de tráfico, información al usuario, iluminación, barreras de entrada, ventilación, grupos electrógenos, cabina de cobro y los demás, es decir, que en un evento catastrófico la totalidad del equipamiento atienda un Protocolo de actuación completamente automatizado, es una tendencia completamente lógica ya que la tecnología ha llegado a un punto en que es posible considerarlo, sin embargo recordemos que la responsabilidad de la atención de incidentes no debe dejarse completamente a un protocolo automatizado. En la atención de incidentes es necesario se cuente con el juicio del personal del Sistema de Control del Túnel.

Los sistemas constructivos también tienen cabida en la seguridad. Los morteros refractarios proporcionan una protección térmica de hasta 1,350 grados durante 6 horas y garantiza temperaturas en interfaz inferiores a 120 grados para proteger concreto hidráulico de alto rendimiento. Proporcionan un grado de protección térmica N2 y N3 que se ajustan a la circular francesa 2000- 63 del 25 de agosto 2000.

#### **CONCLUSIONES.**

1. La operación del Túnel Acapulco ha sido un reto, ya que durante 15 años y de manera ininterrumpida, ha proporcionado las condiciones ambientales necesarias para un tránsito seguro.
2. El personal, equipamiento e insumos que describimos actúan e interactúan de manera coordinada para proporcionar el mayor confort al usuario.
3. Dado que las condiciones climáticas del medio ambiente varían constantemente durante el día y durante el año, para la adecuada operación de un túnel es necesario modificar a cada momento las condiciones ambientales dentro del túnel. Cada túnel es diferente pero la constante es identificar las necesidades del momento para proveer condiciones de operación segura.

4. La supervisión de la capacidad vial en las plazas cobro de un túnel, exige una atención extrema a la saturación de almacenamiento vehicular a fin de evitar la generación de filas de espera de pago dentro del túnel.
5. En un túnel, la atención al cliente es total, desde que entra al perímetro de las instalaciones y hasta que las abandona, es atendido con una calidad difícil de percibir por el usuario, máxime si se está haciendo bien el trabajo de operación de la infraestructura. El medio ambiente creado de manera artificial sólo se evidencia para el usuario cuando algo falla creando condiciones de incomodidad.
6. Los proyectos pioneros como el Túnel Acapulco, no obstante su alta tecnología de inicio, es posible y deseable escalar las capacidades de su equipamiento a estándares recientemente establecidos y, por otro lado, los proyectos ejecutivos de los nuevos proyectos requieren que su operación se dé de inicio con las aplicaciones más novedosas, con el objetivo de dar la mayor seguridad y confort al usuario.

**(Julio 2012)**