



CAPÍTULO 17. SISTEMAS DE SEGURIDAD Y CONTROL



DIRECCIÓN GENERAL DE
SERVICIOS TÉCNICOS

CAPÍTULO 17. SISTEMAS DE SEGURIDAD Y CONTROL



Túnel El Sinaloense, Carretera Durango - Mazatlán

17.1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años en Europa ha habido una serie de importantes incendios en túneles de carretera que han tenido como consecuencia un número elevado de vidas así como grandes daños materiales. En todos los casos los túneles contaban con las medidas de seguridad exigidas por las normativas de sus respectivos países y sin embargo se produjeron las catástrofes. En México también han ocurrido accidentes trágicos aunque de menor magnitud.

Las medidas de seguridad tienen que irse ampliando y mejorando en los túneles carreteros, de tal forma que las situaciones de riesgo generadas por los incendios o accidentes se resuelvan cada vez con mayor seguridad en beneficio de la integridad de los usuarios.

La seguridad en las carreteras constituye uno de los objetivos más importantes en los que se ha enfocado la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), ya que la repercusión negativa que los accidentes tienen en la vida social, constituye una grave preocupación por sus consecuencias humanas, sociales y económicas, que es preciso reducir utilizando todos los medios posibles, uno de los cuales es precisamente la mejora de las características de diseño y construcción de la infraestructura, dotándola del equipamiento necesario para disminuir al máximo los accidentes y en caso de presentarse, combatirlos de forma rápida y eficaz.

Los túneles de carretera son estructuras que por sus singulares características dentro de la red carretera, merecen una atención especial. No es porque en ellos se produzcan más accidentes que en otros puntos del trazo de las carreteras, sino porque cualquier incidencia grave que les afecte puede provocar alarma social, dadas las circunstancias concurrentes y específicas del lugar en que se produce, las dificultades de rescate o evacuación, el dramatismo provocado por el confinamiento o el trastorno que para la carretera puede suponer el cierre temporal de un túnel.

Es por ello que en los últimos años, se ha prestado especial interés a la seguridad en los túneles de carreteras, que son importantes en número y longitud, dadas las condiciones orográficas de nuestro país. Resultado de ese interés son las numerosas medidas que se han venido desarrollando en los últimos años, el acondicionamiento de túneles existentes reforzando sus equipamientos de seguridad, y en los nuevos túneles diseñándolos, extremando sus condiciones de diseño para hacerlos más seguros para el usuario.

El equipamiento básico de los túneles hasta finales de la década de los 80's, consistía en un alumbrado y, en algunos casos por su longitud, ventilación. En los primeros años de la década de los 90's, comenzó a implantarse un tratamiento más homogéneo de la seguridad en los túneles, con especial atención a la causa generadora de accidentes: el tráfico, la falta de señalamiento y de los sistemas de detección y prevención; el poco o nulo mantenimiento, etc.

17.2. SISTEMAS DE SEGURIDAD EN TÚNELES

En caso de incendio o accidente en el interior de un túnel los sistemas de emergencia con los que éste cuenta juegan un papel fundamental en la magnitud del siniestro. Las medidas de seguridad aplicadas dependen entre otros factores, de la geometría del túnel, de su longitud, de la carga de tráfico y del tipo de mercancías que circularán por el túnel.

17.2.1. Instalaciones generales

Como instalaciones generales se pueden clasificar las que están integradas en la obra civil:

- Bahías de emergencia.
- Aceras o banquetas.
- Drenajes.
- Galerías y salidas de emergencia.
- Accesos para los servicios de emergencias.

17.2.2. Factores geométricos

La sección transversal es un factor muy importante y estará diseñada, como ya se mencionó en el capítulo 2 de este Manual, para alojar los carriles de circulación y todos los sistemas de seguridad que requiera el túnel. Dicha sección depende de varios factores entre los que destacan, la longitud del túnel, el número de carriles, si son de uno o dos cuerpos, etc.

Ya se mencionó la longitud, si el túnel es corto el resultado de tráfico detenido es idéntico al de un túnel largo, pero el riesgo podría ser menor en el caso de tener que evacuar el túnel. Por otra parte, si la pendiente fuese elevada, existe una mayor posibilidad de daños, por lo tanto la sección mencionada obliga a disponer de medidas que refuercen la seguridad existente.

17.2.3. Longitud del túnel

Se recomienda que los túneles de más de 400 m de longitud excavada, sean equipados con todos los sistemas de seguridad, tales como sistemas contra incendio, ITS, megafonía, SOS, etc., además de los sistemas de iluminación y ventilación.

Para túneles de menos de 400 m de longitud excavada, se recomienda dotarlos de un sistema de iluminación y señalamiento básico.

17.2.4. Número de cuerpos y número de carriles

En el capítulo 2 se establecieron algunos criterios en este sentido. Adicionalmente se debe considerar que, para decidir si se construye un túnel de un cuerpo o de dos, el volumen de tráfico previsto y la seguridad, tomando en cuenta aspectos como el porcentaje de vehículos pesados, la pendiente longitudinal y la longitud del túnel.

El número de carriles será el mismo dentro que fuera del túnel. Se recomienda que el cambio de número de carriles se haga a una distancia mínima del portal del túnel igual a la recorrida en 10seg por un vehículo que se desplace a la velocidad máxima de proyecto. Si hubiera circunstancias geográficas que impidan aplicar esa distancia se tomarán medidas adicionales para aumentar la seguridad.

17.2.5. Gálibo vertical y horizontal

En túneles carreteros como ya se ha mencionado, el gálibo vertical no será inferior a 5.5 m en ningún punto de la corona ni en las zonas accesibles a los vehículos.

El gálibo horizontal estará en función del ancho de la corona dejando un espacio de 25 cm con respecto a las banquetas del túnel.

Es conveniente precisar que el gálibo vertical debe medirse según una línea vertical, no sobre la línea perpendicular a la calzada.

17.2.6. Bahías de emergencia

En los túneles largos se deberá evaluar la posibilidad de habilitarse bahías de emergencia para dotar al túnel de una zona de estacionamiento en caso de emergencia. Los criterios correspondientes para la definición de bahías, al igual que para las galerías de conexión y salidas de emergencia, se describen en el Capítulo 2 Diseño del Trazo y de la Sección Tipo.

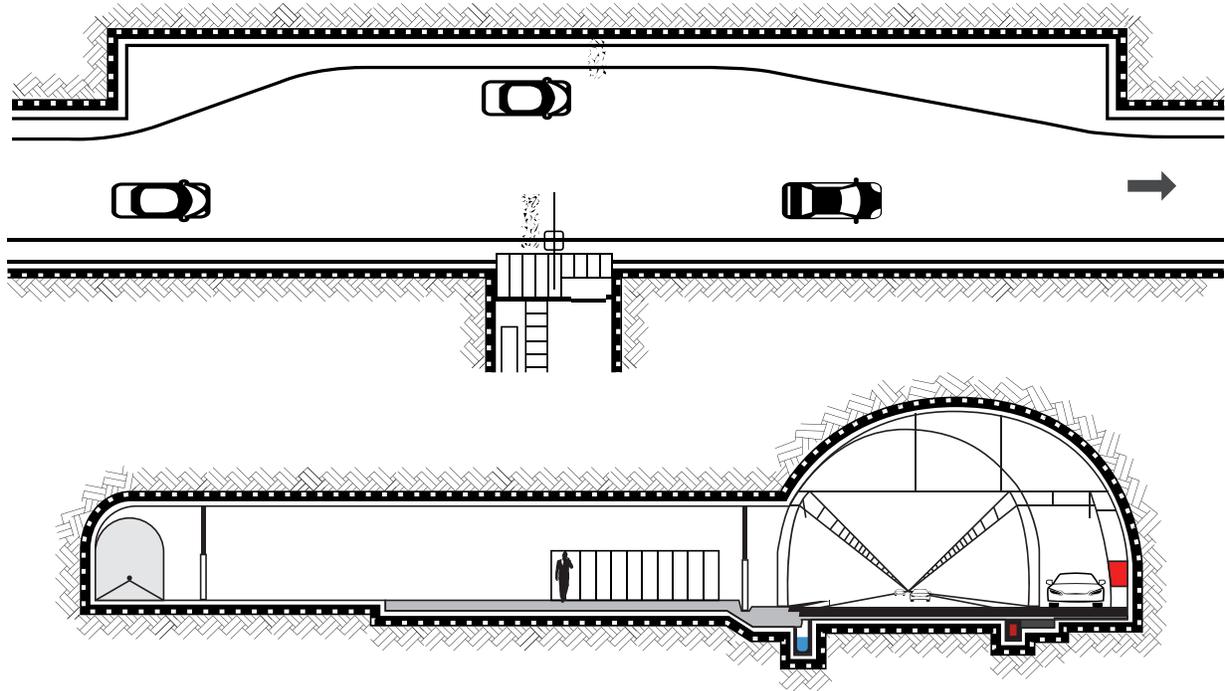


Figura 17.1. Bahía de emergencia.

17.2.7. Galerías de conexión y salidas de emergencia

Las salidas de emergencia permitirán a los usuarios del túnel utilizarlas para abandonar el túnel sin sus vehículos y llegar a un lugar seguro en caso de accidente o incendio y también proporcionan acceso a los servicios de emergencia al túnel. Dichas salidas podrán ser: salidas directas del túnel al exterior, conexiones transversales entre túneles y/o salidas a galerías de emergencia.



Figura 17.2. Galería de conexión.



Figura 17.3. Galería de emergencia.

17.3. EQUIPAMIENTO DE TÚNELES

Otro grupo de instalaciones son los siguientes equipamientos:

- Sistemas de detección de humo, CO y NOx.
- Opacímetros.
- Sistemas de detección de humos por temperatura.

- Semáforos y paneles informativos.
- Equipos de megafonía y comunicación.
- Circuitos cerrados de TV.
- Postes SOS de comunicación de emergencia.
- Equipos de bombeo, hidrantes, extintores, estaciones eléctricas y equipos de gestión centralizados.

17.3.1. Iluminación

La iluminación normal se proporcionará de tal forma que asegure a los conductores una visibilidad adecuada de día y de noche, tanto en la zona de entrada como en el interior del túnel.

La iluminación de evacuación debe tener una proporción de tal modo que permita guiar a los usuarios del túnel para evacuarlo a pie en caso de emergencia. En el capítulo 15 de este Manual se trata ampliamente este tema.

17.3.2. Sistema de extracción de humos

Un aspecto fundamental en caso de incendio en el interior del túnel lo constituye la extracción de gases y humos que se generan. Esta extracción tiene tres funciones:

1. Extraer el humo permitiendo la visibilidad en la zona baja del túnel evitando que se alcancen concentraciones peligrosas de gases tóxicos y hollín, logrando así confinarlos en el área adecuada para su extracción segura.
2. Controlar las temperaturas de los gases evitando que se dañen las instalaciones por el contacto directo con las llamas y por la radiación emitida.
3. Confinar el incendio de forma que se evite su extensión a otros vehículos.

El mayor riesgo mortal en caso de incendio dentro de un túnel lo representan los gases de la combustión y el humo que se acumulan en la parte superior del túnel. El control y extracción de estos productos es por lo tanto de suma importancia para:

- Que no se produzca la extensión del incendio.
- Que las condiciones de evacuación sean las adecuadas.
- Que la intervención de los servicios de emergencias sean efectivas.

Los túneles de carretera cuentan con diferentes sistemas de evacuación de humos que se aplican según las características de cada una de las instalaciones. En el capítulo anterior se revisaron los cuatro tipos fundamentales de ventilación:

- Ventilación natural.
- Ventilación longitudinal.
- Ventilación semitransversal.
- Ventilación transversal.

17.3.3. Ventilación

El proyecto, la construcción y el funcionamiento de la ventilación deberán tomar en cuenta los siguientes conceptos:

- El control de los contaminantes emitidos por los vehículos, en un flujo de tráfico normal y denso.
- El control de los contaminantes emitidos por vehículos, en el caso de que el tráfico esté detenido a causa de un incidente.
- El control del calor y el humo en caso de incendio.

En todos los túneles de longitud superior a 400 metros, deberá instalarse un sistema de ventilación mecánica.

La ventilación longitudinal deberá ser utilizada únicamente en los túneles con circulación bidireccional o unidireccional congestionada si un buen análisis del riesgo es aceptable, o si se toman medidas específicas, tales como una apropiada gestión del tráfico, una reducción de la distancia entre salidas de emergencia y la colocación de extractores de humo a intervalos.

Los sistemas de ventilación transversal o semitransversal se recomienda sean utilizados en aquellos túneles que requieran un sistema de ventilación mecánica y para los que no se haya autorizado una ventilación longitudinal. Estos sistemas deben tener la capacidad de extraer el humo en caso de incendio.

Para los túneles de longitud superior a 3,000 m, de tráfico bidireccional y de ventilación transversal o semitransversal, deberán adoptarse las siguientes medidas mínimas relativas a la ventilación:

- Se instalarán reguladores de aire y de humo que puedan funcionar separadamente o agrupados.
- La velocidad de aire longitudinal deberá controlarse constantemente, y el proceso de control del sistema de ventilación (reguladores, ventiladores, etc.) deberá ajustarse para su funcionamiento correcto.

En el capítulo 16 del presente Manual, se trata extensamente el tema de ventilación.

17.3.4. Detección de incendios

El sistema de detección de incendio más utilizado últimamente en la construcción de túneles, es el detector lineal bimetálico, que ofrece las condiciones adecuadas para este tipo de aplicación. Se trata de un cable que, al alcanzar una temperatura de 60°C, sufre una alteración de sus características mecánicas, poniendo en corto circuito los conductores entre sí, efecto que se emplea para provocar la alarma de incendio.

Midiendo la resistencia de la línea hasta el punto de cortocircuito o subdividiendo la instalación en sectores, se determina el lugar del incendio en el túnel.

El sistema de ventilación y la red de hidrantes juegan un papel muy importante para minimizar las consecuencias del incendio, reduciendo el humo y la temperatura existente en el interior del túnel.

El humo disminuye la visibilidad e impide la intervención adecuada de los equipos de emergencia. Además genera pánico y provoca el comportamiento anormal de los usuarios.



Figura 17.4. Cable detector lineal de temperatura.

17.3.5. Estaciones de emergencia

El objetivo de las estaciones de emergencia es proporcionar diversos equipos de seguridad, en particular teléfonos de emergencia y extintores. Estos postes pueden consistir de un nicho. Deberán estar equipadas, como mínimo, de un teléfono de emergencia y de dos extintores.

17.3.6. Postes de emergencia (postes SOS)

El objeto principal de los postes de emergencia es permitir el aviso y comunicación de cualquier incidencia por parte de los usuarios del túnel, aunque también pueden ser usados por el personal de mantenimiento. Normalmente permiten la comunicación verbal bidireccional con el Centro de Control y, además, disponen de pulsadores de alarma para comunicar daños mecánicos o urgencias médicas.

Los postes de emergencia (postes SOS) se instalan en el interior del túnel dentro de unas celdas o nichos de seguridad alojados en la pared del túnel, normalmente separados a cada 60 m, alternados, que depende de la situación del túnel y de la cantidad de tráfico que circula por su interior. También se deben ubicar en las zonas exteriores y próximas a los accesos, sobre todo si el túnel está en zonas deshabitadas. No obstante, no se deben instalar próximos a los portales en el interior del túnel (al menos deben estar a una distancia de 15 m de éstos), debido a los problemas de adaptación de la visión de los conductores al entrar en el túnel.

Los postes de auxilio están básicamente compuestos por teléfonos “manos libres”, provistos de micrófono y altavoz y/o timbres de alarma como complemento o sustituto de los primeros. Puede ser conveniente la instalación conjunta de ambos para ofrecer una seguridad suplementaria en el caso de daños del teléfono de emergencia correspondiente. Como los timbres o botones de alarma son menos costosos se pueden instalar a distancias menores (del orden de 50 m) e incluso considerar la posibilidad de conectarlos entre sí mediante un cordón continuo de alarma a lo largo del túnel. Si el túnel es bidireccional es necesaria la instalación de postes en las dos márgenes y enfrentados para evitar cruces de los conductores.

En caso de no existir banquetas en el túnel, se deberán disponer en unos nichos excavados en la pared para que los usuarios caminen con seguridad. Por el contrario, cuando se disponga de banquetas en el interior del túnel puede no requerirse el uso de nichos, estando en este caso el poste SOS fijado en la pared del túnel. En ambos casos, a causa del nivel de ruido que puede existir en el interior de un túnel con gran intensidad de circulación es conveniente que los nichos o cabinas estén insonorizados.

También debe estudiarse la conveniencia de instalar los postes en las bahías de emergencia para vehículos, sobre todo en vías con elevado tráfico; caso muy normal en vías urbanas.



Figura 17.5. Poste SOS.

17.3.7. Abastecimiento de agua

Todos los túneles equipados dispondrán de abastecimiento de agua. Habrá bocas de agua cerca de la entrada y en el interior a intervalos no superiores a 60 m alternados. Si no se dispone de suministro de agua, será obligatorio comprobar la existencia de otro tipo de abastecimiento de agua suficiente, por ejemplo construir cisternas y abastecerlas con pipas.

17.4. SEÑALAMIENTO EN TÚNELES

El proyecto de señalamiento para túneles carreteros tiene como finalidad regular su uso, facilitando a los usuarios su utilización segura y eficiente. La señalización es uno de los medios con los que cuenta el operador para comunicarse con el usuario.

Según su propósito y ubicación el señalamiento se clasifica en:

- Señalamiento horizontal
- Señalamiento Vertical

17.4.1. Señalamiento Horizontal

Es el conjunto de marcas y dispositivos que se pintan o colocan sobre el pavimento, guarniciones y estructuras, dentro o adyacentes a la calzada con el propósito de delinear las características geométricas del túnel y denotar todos aquellos elementos estructurales que estén instalados, con el fin de regular y canalizar el tránsito de vehículos y peatones, así como proporcionar información a los usuarios. Estas marcas pueden ser rayas, símbolos, leyendas o dispositivos.

Con base en la *NORMATIVA PARA LA INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE* en su última edición, en la *NORMATIVA SCT* y en los manuales de señalamiento publicados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, se definió el alineamiento horizontal para los tipos de túneles carreteros más comunes. El proyectista deberá analizar cada proyecto en particular para implementar y diseñar el señalamiento horizontal tipo.

17.4.1.1. Señalamiento horizontal para túneles en carreteras tipo A2

Este tipo de túneles contemplan 2 carriles de circulación (1 por sentido) con acotamientos y en una segunda etapa podrán ser 3 carriles. El señalamiento horizontal deberá marcar adecuadamente el límite de galibo, carriles y sentidos de circulación. En túneles con pavimento de concreto hidráulico, debido a la colocación de la membrana de curado; las rayas color blanco no se podrán visualizar correctamente, por lo que deberá considerarse la utilización del color amarillo en las rayas.

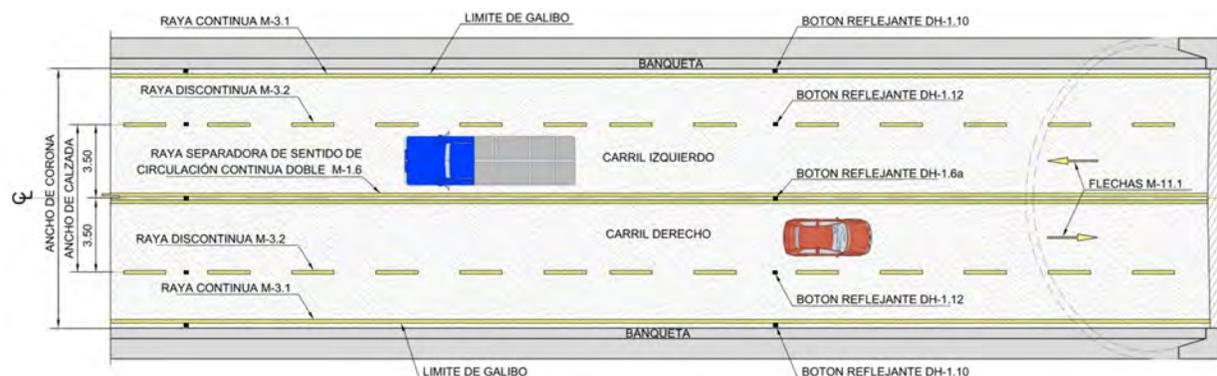


Figura 17.6. Señalamiento horizontal tipo, para túneles en carretera A2 (2 Carriles).

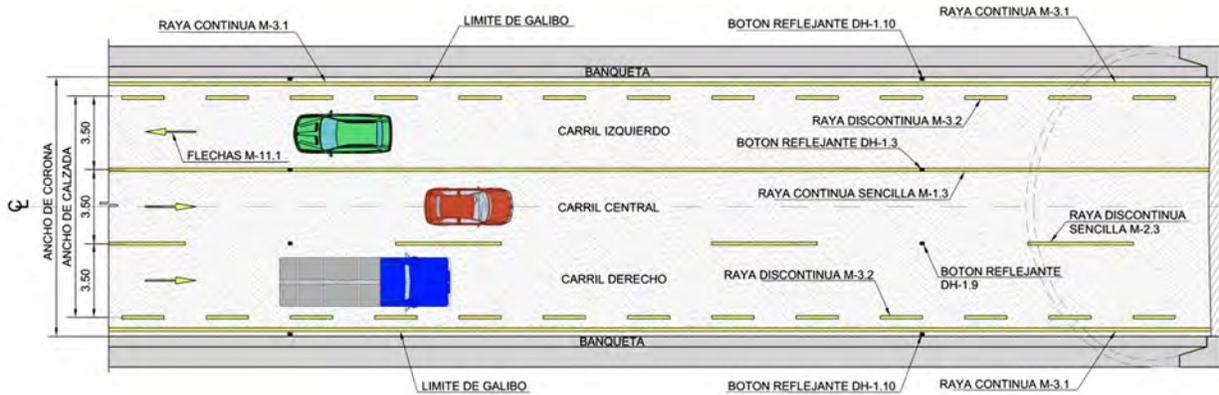


Figura 17.7. Señalamiento horizontal tipo, para túneles en carretera A2 (3 Carriles).

17.4.1.2. Señalamiento horizontal para túneles en carreteras tipo A4

Este tipo de túneles contemplan 4 carriles de circulación (2 por sentido); estos túneles cuentan con una barrera central de concreto que divide los sentidos de circulación. El señalamiento horizontal deberá marcar adecuadamente el límite de galibo, carriles, sentidos de circulación y barrera central.

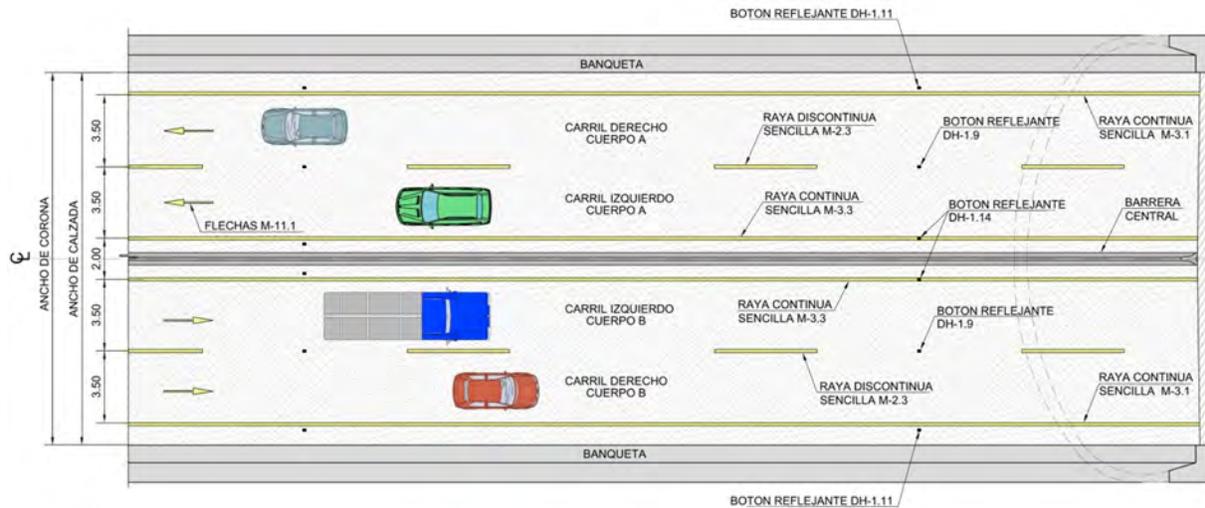


Figura 17.8. Señalamiento horizontal tipo, para túneles en carretera A4.

17.4.1.3. Señalamiento horizontal para túneles en carreteras tipo A4S

Este tipo de carreteras requieren 2 túneles (túneles gemelos, 1 para cada sentido de circulación) con 2 carriles cada uno en el mismo sentido de circulación. El señalamiento horizontal deberá marcar adecuadamente el límite de galibo, carriles y sentidos de circulación.

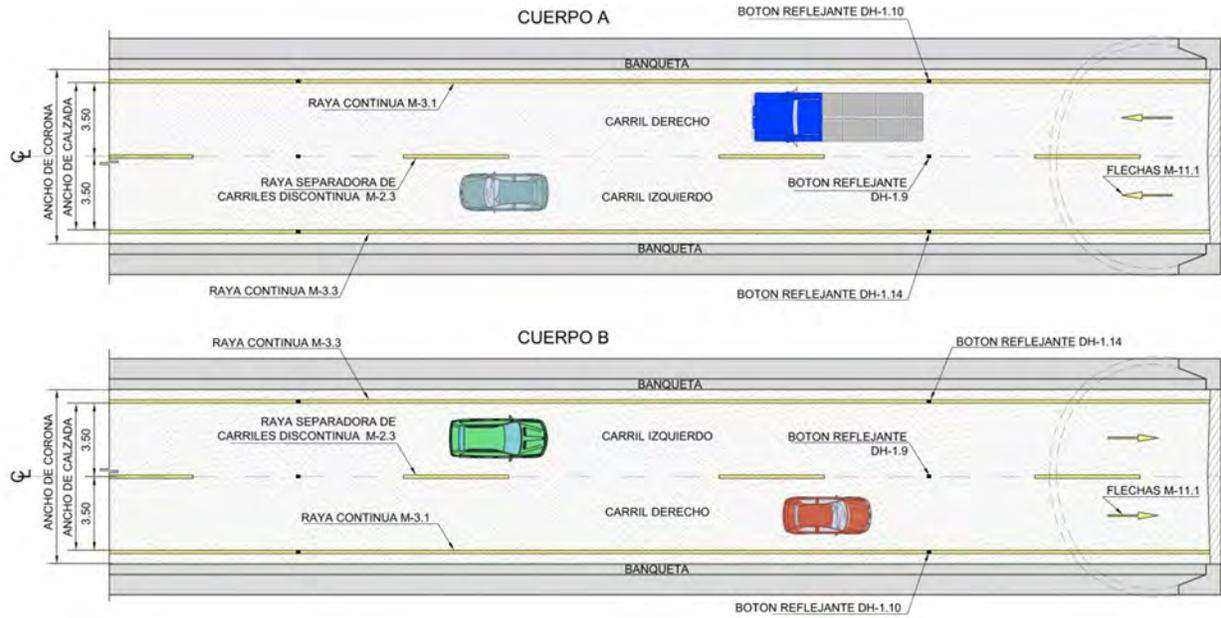


Figura 17.9. Señalamiento horizontal tipo para túneles en carretera A45.

17.4.1.4. Señalamiento horizontal en aproximación a bahía de emergencia

En los túneles en los que se proyecten estacionamientos de emergencia (bahías) se utilizarán rayas de espaciamiento logarítmico en las zonas próximas de la bahía. Estas rayas regulan la velocidad de los vehículos, produciéndole al conductor la ilusión tanto óptica como auditiva que su vehículo se acelera y así moderar la velocidad de los vehículos antes de una bahía de emergencia.

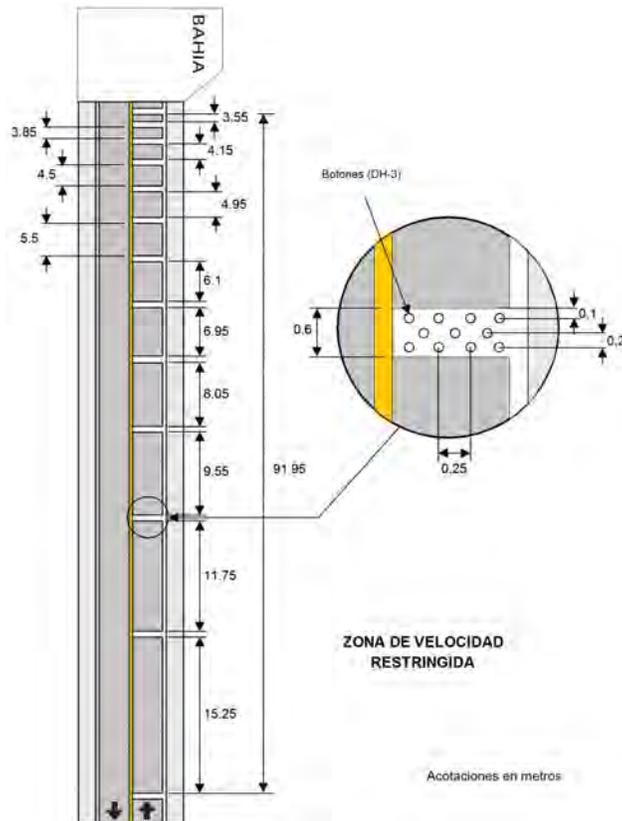


Figura 17.10. Marcas en el pavimento en zonas de aproximación a bahías de emergencia.

17.4.2. Señalamiento vertical

El señalamiento vertical es el conjunto de tableros fijados en postes, marcos u otras estructuras, integrados con leyendas y símbolos que tienen el propósito de regular el uso del túnel carretero, transmitiendo al usuario un mensaje preventivo, restrictivo o informativo.

En túneles carreteros es muy importante informar al usuario oportunamente de los servicios, instalaciones especiales y características geométricas del túnel. Dependiendo del nivel de equipamiento de cada túnel, el proyectista deberá diseñar el señalamiento vertical para cada caso en particular, evitando saturar al usuario de información.

17.4.2.1. Señales preventivas

Las señales preventivas son tableros fijados en postes, con símbolos que tienen por objeto advertir a los conductores de vehículos sobre la existencia de algún peligro en el camino y su naturaleza.

A continuación se presentan las señales preventivas más utilizadas en los túneles carreteros, la altura de colocación, dimensiones, colores y ubicación deberán ser definidos en la etapa de proyecto con base en la Normativa vigente en su última edición

17.4.2.1.1. Señal SP-6 Curva

Se utiliza para indicar las curvas a la derecha o a la izquierda, cuando el producto del grado de curvatura por la deflexión sea menor de 900.



Figura 17.11. Señal SP-6 Curva.

No se deben señalar aquellas curvas que tengan una deflexión menor de 15° o un grado de curvatura menor de 2°. El pictograma debe indicar si la curva es a la derecha o a la izquierda.

17.4.2.1.2. Señal OD-12 Indicadores de curvas peligrosas

Son señales bajas que se utilizan para indicar mediante puntas de flecha, los cambios del alineamiento horizontal de las carreteras, con el propósito de proporcionar un énfasis adicional y una mejor orientación a los usuarios en las curvas peligrosas.

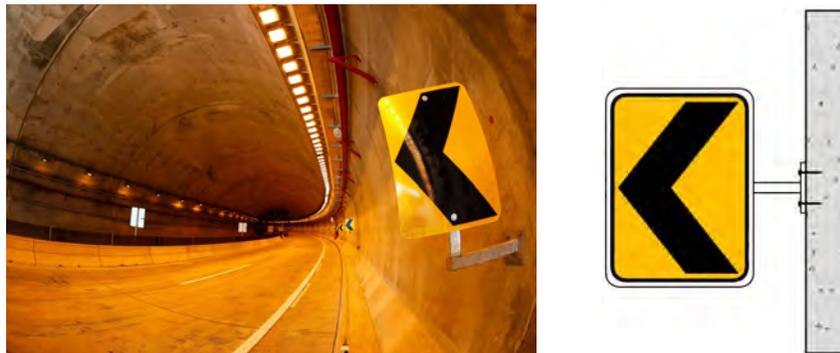


Figura 17.12. Señal SP-6 Curva.

17.4.2.2. Señales restrictivas

Las señales restrictivas tienen por objeto indicar al usuario sobre la existencia de limitaciones físicas o prohibiciones reglamentarias que restringen el uso del túnel. Generalmente son señales bajas que se fijan en postes y marcos, aunque en algunos casos pueden ser elevadas cuando se instalan en una estructura existente.

Las señales restrictivas están constituidas por un tablero principal que contiene un pictograma y leyenda y, de ser necesario un tablero adicional que especifique condiciones particulares a la indicación que se pretende transmitir.

A continuación se presentan las señales restrictivas más utilizadas en los túneles carreteros, la altura de colocación, dimensiones, colores y ubicación deberán diseñarse en la etapa de proyecto con base en la Normativa vigente en su última edición.

17.4.2.2.1. Señal SR-15 Altura libre restringida (Gálibo)

En túneles esta señal se utiliza para indicar las dimensiones máximas permitidas a un vehículo para el paso por el túnel.



Figura 17.13. SR-15 Altura libre restringida.

17.4.2.2.2. Señal SR-18 Prohibido rebasar

Se emplea para indicar los tramos en los que no se permite realizar maniobras de rebase. Esta señal se complementa con la marca M-1 RAYA SEPARADORA DE SENTIDOS DE CIRCULACIÓN que corresponda y se usa en los tramos de carretera de dos carriles, donde la distancia de visibilidad de rebase esté restringida a la entrada de los túneles y en las zonas donde el proyectista considere necesario.



Figura 17.14. SR-18 Prohibido rebasar.

17.4.2.2.3. Señal SR-9 Velocidad

Se utiliza para indicar el límite máximo de la velocidad permitida a lo largo de todo el túnel, es expresada en múltiplos de 10 con la abreviatura km/h. En los túneles que cuenten con bahías de emergencias se podrá restringir aún más la velocidad en las zonas próximas a la misma.

Es recomendable añadir un tablero adicional con la palabra “máxima” para indicarle al usuario claramente la velocidad máxima al entrar al túnel.



Figura 17.15. SR-9 Velocidad máxima.

17.4.2.3. Señales informativas

Las señales informativas son tableros con leyendas, flechas y pictogramas que tienen por objeto guiar al usuario a lo largo de todo el túnel, e informarle sobre las características del mismo y ciertas recomendaciones que conviene observar. Son señales bajas o elevadas que se fijan en postes, marcos y otras estructuras.

A continuación se presentan las señales informativas que se podrán utilizar en túneles carreteros; la altura de colocación, dimensiones, colores y ubicación deberán diseñarse en la etapa de proyecto con base en la Normativa vigente en su última edición.

17.4.2.3.1. Señal Nombre del túnel

Se colocará justo antes de la entrada del túnel, a 5.0m del inicio del túnel falso; dependiendo del nivel de equipamiento del túnel se podrán colocar 2 tipos de señal con la información general del túnel.

En túneles cortos que no estén equipados (extintores, nichos SOS, video vigilancia etc.) se colocará una señal informativa que contenga la simbología de túnel, nombre y longitud en metros sin decimales.



Figura 17.16. Señal 1 Nombre del túnel (túneles cortos).

En túneles que cuenten con un equipamiento completo (extintores, nichos SOS, video vigilancia, semaforización, tableros, etc.) y estructuras adicionales al túnel (bahías de emergencia, galerías de conexión y de emergencia) se colocará una señal informativa que contenga el nombre del túnel, su longitud y los principales servicios con los que cuenta. Es conveniente colocar esta señal tipo bandera en la entrada del túnel a una altura que supere el galibo de proyecto.



Figura 17.17. Señal 2 Nombre del túnel (túneles equipados).

17.4.2.3.2. Señales “Conserve su carril” y “Túnel próximo encienda sus luces”

Con el fin de dotar al usuario de recomendaciones importantes antes de entrar al túnel; se instalarán las señales “Conserve su carril” y “Túnel próximo, encienda sus luces”; las cuales se colocarán de frente al flujo vehicular a 50 y a 100m de distancia del portal respectivamente.

El proyectista tomará en cuenta las características geométricas de cada proyecto en particular y las estructuras cercanas al túnel con la finalidad de que las señales sean vistas oportunamente por el usuario.

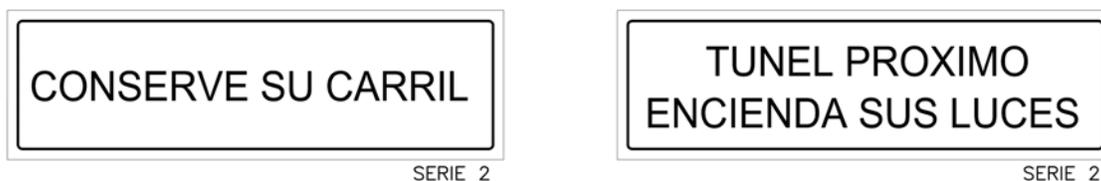


Figura 17.18. Señales “Conserve su carril” y “Túnel próximo encienda sus luces”.

17.4.2.3.3. Señal Bahía de emergencia

En los túneles que cuenten con bahías de emergencia, se colocará esta señal de tal forma que el usuario que requiera hacer uso de la bahía, tomen en cuenta o tenga la certeza de su ubicación y proximidad.

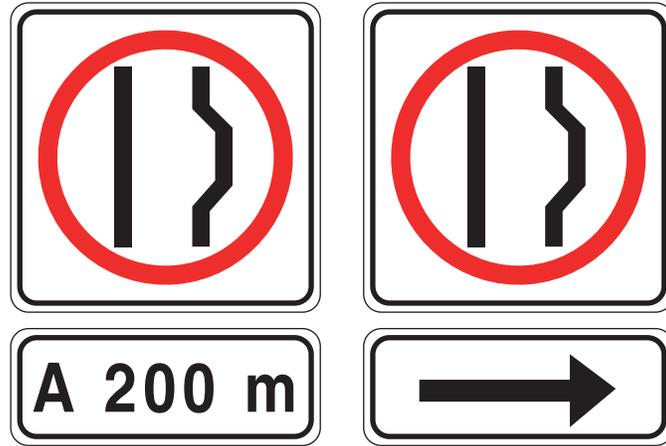


Figura 17.19. Señal de aproximación, “bahía próxima”.

Es recomendable colocarlas a 300 metros atrás y avisar su proximidad cada 100 m hasta llegar a la bahía. Estas señales se podrán colocar en postes fijos o en paneles de señalamiento variable dependiendo de cada proyecto en particular.

17.4.2.3.4. Señal Salida a Galería de conexión

En túneles gemelos o que cuenten con galerías de emergencia; se colocarán señales que indiquen a los vehículos de emergencia la salida vehicular más próxima. Estas señales se podrán colocar en postes fijos o en paneles de señalamiento variable dependiendo de cada proyecto en particular.

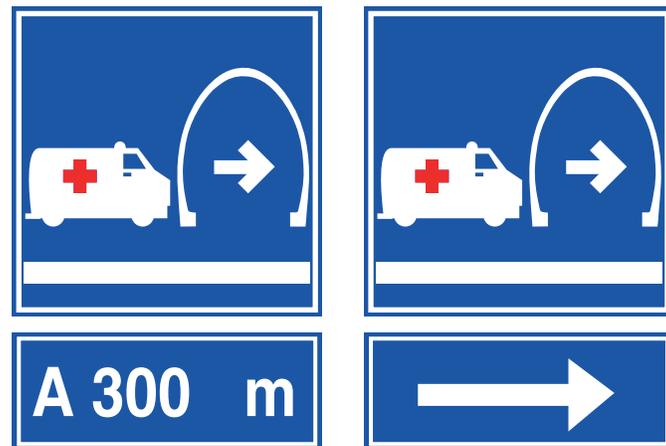


Figura 17.20. Señal Salida a galería de conexión.

17.4.2.3.5. Señal extintor y SOS.

En los túneles que estén equipados con nichos SOS, que contengan los distintos dispositivos de seguridad disponibles para los usuarios (teléfonos de emergencia, extintores, salidas de emergencia, etc.) requieren además una señalización de seguridad específica. Estas señales se colocarán en postes o en paneles de señalamiento variable con el objetivo de mantener informado al usuario de la ubicación y proximidad de estos nichos.

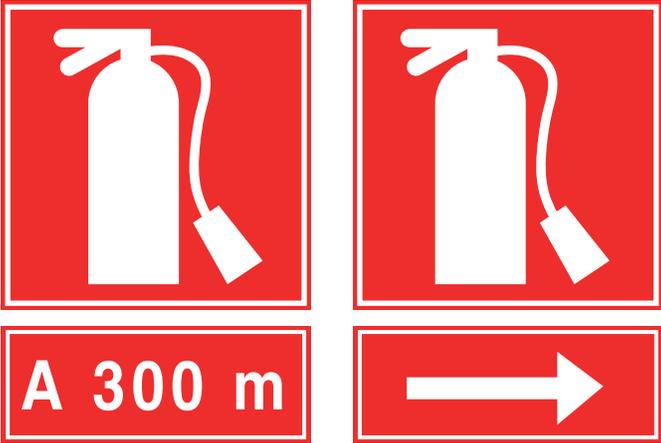


Figura 17.21. Señal extintor.

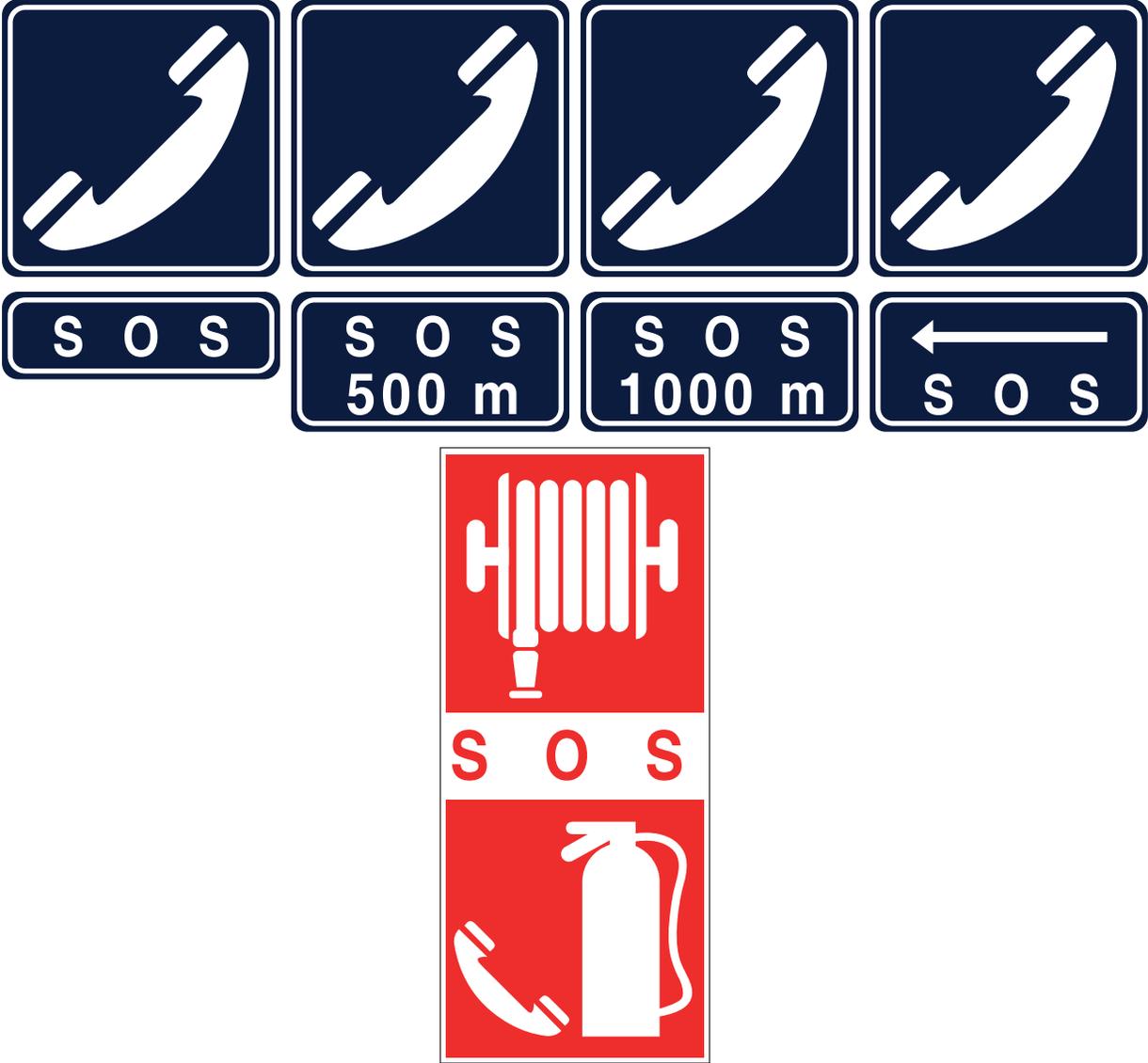


Figura 17.22. Señalamiento nicho SOS.

17.4.3. Paneles de señalamiento y mensajes variables

Dependiendo del nivel de equipamiento del túnel, se recomienda diseñar las señales en paneles electrónicos, que podrán cambiar en caso de accidente o cualquier situación de peligro para el usuario.



Figura 17.23. Paneles de Señalamiento.

Al exterior del túnel también se recomienda colocar señalamientos de mensajes variables, éstos muestran indicaciones claras que informen a los usuarios del túnel de las eventuales congestiones, daños, mantenimientos, accidentes, incendios u otros peligros.



Figura 17.24. Paneles de mensajes variables.

17.5. RADIO

En los túneles en los que se pueda recibir información a través de la radio, se indicará a los usuarios antes de la entrada, mediante indicaciones adecuadas de cómo se puede recibir esta información.

Los señalamientos e indicaciones se diseñarán y situarán del tal forma que sean claramente visibles.



Figura 17.25. Señalamiento de frecuencia de radio a sintonizar.

17.6. CENTRO DE CONTROL

La vigilancia de varios túneles o de un túnel mayor a los 3,000 m podrá estar centralizada en un único centro de control.

El centro de control deberá ser operado por personal calificado y entrenado, además de ser equipado con los aparatos esenciales y equipo para comunicarse, supervisar y coordinar a todo el personal.

Debe servir como una estación propietaria para recibir directamente llamados de alarmas. Esto proporciona información más rápida, y permite un sistema de alarmas integral y activación de sistemas y dispositivos sin retrasos.

Los sistemas monitoreados por la estación de supervisión deberán tener un sistema conforme a la norma de alarma y monitoreo del propietario.

El centro de control debe tener la capacidad de comunicar rápidamente con las unidades de emergencia participantes.

Los órganos participantes como de bomberos, policía, ambulancia, protección civil y servicios médicos deben tener líneas directas de teléfono o números designados de teléfono que sean usados para emergencias en las que esté involucrada la instalación.

El equipo debe de estar disponible y debe de ser usado para grabar audio y comunicaciones de teléfono y transmisiones de Circuito Cerrado de Televisión (CCTV) durante una emergencia.

El personal del centro de control deberá estar muy familiarizado con el plan de respuesta de emergencia y deberá estar capacitado para implementarlo de manera eficiente.

Las ubicaciones alternas deberán ser proporcionados en el caso de que el centro de control esté fuera de servicio por cualquier razón y debe de estar equipado o tener equipo fácilmente disponible, para funcionar como la agencia operadora lo requiera y deberá tener todos los documentos necesarios, archivos, y procedimientos disponibles para duplicar las funciones del centro de control primario.

El centro de control, estará ubicado en una zona separada de otras ocupaciones por la construcción que tiene una clasificación de resistencia al fuego de 2 horas. Deberá estar protegido por sistemas de detección, protección y extinción de incendios.

17.7. SISTEMAS DE VIGILANCIA

En todos los túneles dotados de un centro de control se instalarán sistemas de vigilancia por vídeo y un sistema capaz de detectar de forma automática incidentes tales como vehículos que se detienen y/o incendios, accidentes, etc.

En los túneles que no estén dotados de un centro de control, se instalarán sistemas de detección automática de incendios cuando el funcionamiento de la ventilación mecánica para el control del humo, sea diferente del funcionamiento automático de la ventilación para el control de contaminantes.



Figura 17.26. Sistemas de vigilancia.

17.7.1. Sistemas de Televisión de Circuito Cerrado (CCTV)

Cuando la longitud de un túnel sea mayor o igual a 400 m, se debe de instalar un sistema CCTV. Este sistema debe de ser capaz de observar la longitud total del túnel de una sola estación de monitoreo usando múltiples cámaras y ubicaciones.

Un sistema cerrado de televisión (CCTV) con dispositivos de flujo de tráfico o cámaras de vigilancia deberá ser permitido para su uso en la identificación y localización de incendios en túneles con supervisión de 24 horas.

El equipo debe de estar disponible y debe de ser usado para grabar audio y comunicaciones de teléfono y transmisiones de CCTV durante una emergencia.

17.7.2. Registros

Los reportes escritos y las grabaciones de teléfono, radio y CCTV deben ser guardados en la estación de supervisión central. Dichos reportes deben guardarse en los puestos de comando y puestos de comando auxiliares durante las emergencias por incendios, ejercicios e instrucciones.

17.7.3. Detección de Incendios

La detección de incendios puede ocurrir por diferentes medios, incluyendo cajas de alarma manuales, circuito cerrado de televisión (CCTV) o un sistema automático de detección de incendios. Este último iniciará la respuesta a una emergencia de incendios.

17.8. EMERGENCIAS

Los siguientes incidentes típicos deberán ser considerados durante el desarrollo de los planes de respuesta en emergencias de la instalación:

1. Incendios o condiciones de humo en uno o más vehículos en la instalación.
2. Incendios o condiciones de humo adyacente o contiguo a la instalación.
3. Colisiones envolviendo uno o más vehículos.
4. Pérdida de energía eléctrica que resulta en pérdida de iluminación, ventilación, u otro sistema de salvaguardas.
5. Rescate y evacuación de automovilistas en condiciones adversas.
6. Vehículos deshabilitados.
7. Inundación de las rutas de salida o de evacuación.
8. Filtración y derrame de vapores y gases flaméales, tóxicos, o irritantes.
9. Múltiples incidentes con víctimas.
10. Daños a la estructura de impacto y exposición al calor.
11. Vandalismo serio u otros actos criminales, como bombas, amenazas y terrorismo.
12. Primeros auxilios o atención médica para automovilistas.
13. Condiciones de clima extremo, como fuertes nevadas, lluvia, vientos fuertes, calor elevado, bajas temperaturas, o hielo, que causa desorganización de operación.
14. Movimientos sísmicos.
15. Materiales peligrosos accidental o intencionalmente liberados dentro del túnel.

17.9. EQUIPOS PARA EL CIERRE DEL TÚNEL

En todos los túneles de longitud superior a 400 metros, se instalarán semáforos antes de las entradas, para que el túnel pueda cerrarse al tráfico en caso de emergencia. Podrán utilizarse además otros medios tales como señalamientos de mensaje variable y barreras para garantizar el cierre.

Dentro de los túneles de longitud superior a 3,000 metros, dotados de un centro de control se recomienda situar equipos para detener los vehículos en caso de emergencia, separados a una distancia máxima de 1,000 metros. Dichos equipos consistirán en semáforos y otros medios tales como altavoces, señalamientos de mensaje variable y barreras.

17.10. SISTEMAS DE COMUNICACIÓN

En todos los túneles equipados se instalarán equipos de transmisión por radio para su utilización por los servicios de emergencia.

Cuando se disponga de un centro de control deberá ser posible la interrupción de la transmisión por radio de los canales destinados a los usuarios del túnel (si existan dichos canales), con objeto de emitir mensajes de emergencia.

Los refugios y otras instalaciones en que los usuarios del túnel deban esperar antes de poder llegar al exterior estarán equipados con megafonía para informar a los usuarios.

Los sistemas de comunicaciones de radio tales como aviso por la radio de baja potencia (HAR) y AM / FM estación comercial, que se podrían proporcionar a los conductores para informarles sobre la naturaleza de la emergencia y las acciones que el automovilista debe tomar.

Todos los sistemas de mensajería deben ser capaces de transmitir en tiempo real.

Los sistemas de comunicación también presentarán una selección de mensajes pregrabados para la radiodifusión por la autoridad de respuesta a emergencias. Las áreas de refugio, si es posible, deberán contar con comunicaciones confiables de voz de dos vías a la autoridad de respuesta a emergencias.

17.11. INCIDENCIAS

Las principales incidencias que pueden ocurrir en un túnel son daños, accidentes e incendios. Los daños suelen ser casi siempre de tipo mecánicos o eléctricos.

Es importante destacar la tasa muy alta de daños en túneles, lo cual puede ser debido a la mayor edad del parque automovilístico que se utiliza en estos desplazamientos. Asimismo las rampas son origen de un gran número de daños. Por encima de un 2-2,5 % éstas aumentan considerablemente. Otro factor que interviene es el hecho de que el túnel sea de cuota o no y existe un trazo alternativo, por lo general el tráfico captado será de mayor calidad y el porcentaje de daños menor.

Ello es debido fundamentalmente a que el conductor al entrar en un túnel advierte que se trata de un tramo con características peculiares y extrema la precaución. Además, como la longitud de los túneles no suele ser muy alta, apenas da tiempo para que el usuario pudiera relajarse.

Un aspecto importante a tener en cuenta es si se permite la circulación de mercancías peligrosas por el interior del túnel. Como el riesgo está relacionado con la pérdida de vidas humanas convendría desviar este tráfico por un itinerario alternativo, siempre que sea posible y que no implique un riesgo aún mayor, buscando una solución en la que se tenga en cuenta el riesgo socialmente aceptado. El problema en estos casos está en adoptar una solución de compromiso entre riesgos individuales o colectivos y en la valoración de la vida humana mediante indemnización o mediante el costo en evitar el accidente.

Otros factores a tener en cuenta son la disposición de un sistema eficaz de toma de datos en caso de accidente y la elección de un sistema de ventilación adecuado. Por ejemplo en caso de ventilación longitudinal y circulación bidireccional es más peligroso debido a que no se puede aislar a una parte del túnel del humo si el vertido se incendia. Si fuese unidireccional sí se podría, porque los vehículos situados en la parte baja del incendio podrán salir y los de la parte de arriba se detendrán, quedando protegidos por el uso de los ventiladores en el sentido en el que el túnel está ya desalojado.

17.11.1. Sistema de Detección Automática de Incidentes (DAI)

Permite mediante un análisis de imágenes detectar cualquier situación anómala en el túnel (vehículos parados o circulando en sentido contrario, disminuciones bruscas de velocidad, presencia de animales, peatones, etc.) y así poder informar y alarmar al Centro de Control y usuarios con rapidez acerca de estas situaciones garantizando la seguridad del usuario.

Los sistemas automáticos de detección de fuego deberán ser capaces de proporcionar detección en las etapas de inicio de un incendio en desarrollo dentro del túnel.

Este sistema es un complemento a otros; la detección es automática permitiendo ganar tiempo para evitar un accidente. Además permite dejar un registro de los incidentes para su posterior análisis y mejora de la operación del sistema.

Los sistemas de Vídeo Detección utilizan algoritmos de procesado de imagen para obtener la información necesaria de las cámaras normales de vigilancia.

Están desarrollados especialmente para la Detección Automática y diseñados para integrarse eficientemente en cualquier sistema de control de tráfico.

Su alta fiabilidad del sistema, garantizan una supervisión completamente automática de:

- Detección de Incidentes Automática - Vehículo parado.
- Peatones.
- Adquisición de Datos de Tráfico.
- Tiempos de desplazamiento.
- Detección de congestión del tráfico.
- Grabación digital de video.

La arquitectura tradicional del sistema DAI está compuesta de analizadores de imágenes, de un servidor DAI y de un ordenador de supervisión del sistema. Los analizadores DAI procesan el flujo analógico de las cámaras y comunican eventos hacia el Servidor DAI por medio de una red Ethernet.

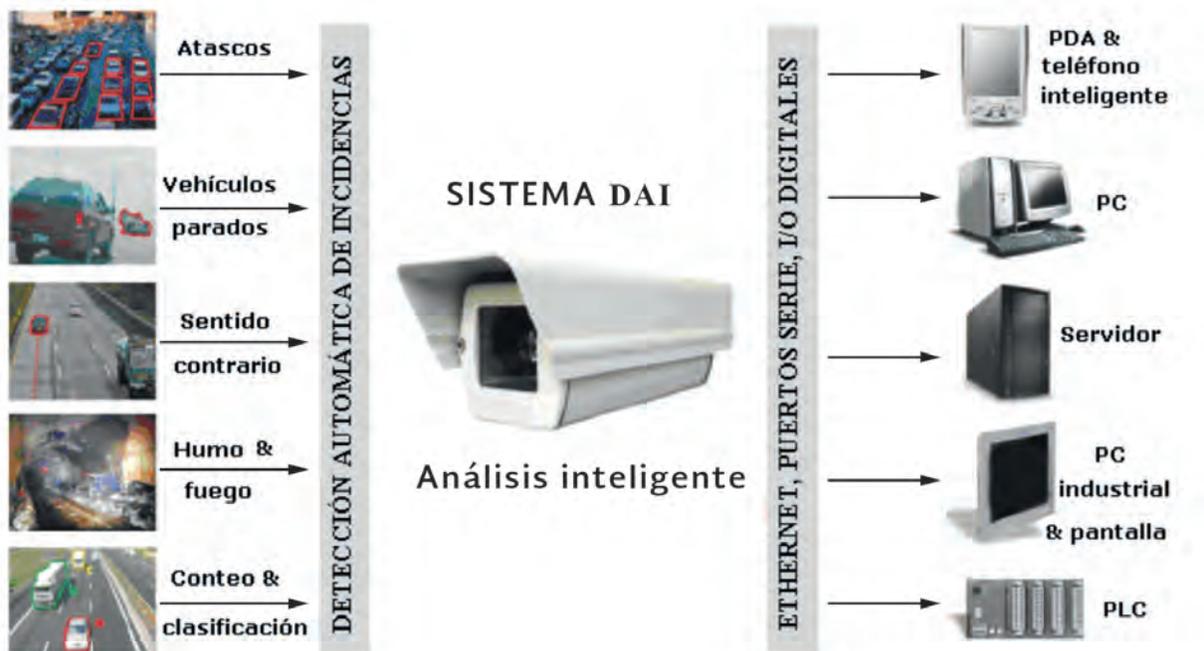


Figura 17.27. Sistemas de detección de incidentes.

17.12. SUMINISTRO DE ELECTRICIDAD DE EMERGENCIA

Todos los túneles deberán disponer de un suministro eléctrico de emergencia capaz de garantizar el funcionamiento del equipo de seguridad que sea indispensable hasta que todos los usuarios hayan evacuado el túnel.

Los circuitos eléctricos de control estarán diseñados de tal manera que un corte de energía local, debido por ejemplo a un incendio, no afecte a los circuitos que no hayan sufrido daños.

17.13. RESISTENCIA A LOS EQUIPOS DE FUEGO

El grado de resistencia al fuego de todos los equipos del túnel tendrá en cuenta las nuevas tecnologías y su finalidad será la de mantener las necesarias funciones de seguridad en caso de incendio.

17.14. FACTORES DE PROTECCIÓN CONTRA FUEGO Y DE SEGURIDAD HUMANA CONTRA INCENDIOS

Independientemente de la longitud del túnel los siguientes factores mínimos deberán tomarse en cuenta en el marco de un análisis de la protección contra incendios y los requisitos de seguridad de la vida para las instalaciones de los túneles:

- Usuarios de la instalación.
- Entrada y salida restringida de vehículos.
- Emergencias de incendio que van desde incidentes menores a catástrofes mayores.
- Emergencias con fuego que ocurren en una o más locaciones dentro o en las proximidades de la instalación.
- Emergencias con fuego que ocurren en locaciones remotas a una distancia larga de las instalaciones de respuesta contra fuego.
- Exposición de los sistemas y estructuras de emergencia a elevadas temperaturas.
- Congestión de tráfico y control durante emergencias.
- Características integradas de protección contra fuego, como las siguientes:
 - a) alarma contra incendios y sistemas de detección
 - b) sistemas de tuberías
 - c) sistemas contra incendios a base de agua
 - d) sistemas de ventilación
 - e) sistemas de comunicación de Emergencia
- Componentes de la instalación, incluyendo sistemas de emergencia.
- Requisitos de evacuación y rescate.
- Tiempo de respuesta de emergencia.
- Puntos de acceso de emergencia vehicular.
- Comunicaciones de emergencia a agencias apropiadas.
- Localización de la instalación, urbano o rural (Nivel de riesgos y capacidad de respuesta).
- Dimensiones físicas y configuración, así como el perfil de la carretera.
- Factores naturales, incluyendo viento dominante.
- Carga prevista.
- Impacto a edificios y puntos de referencia cercanos a la instalación.
- Impactos a la instalación de operaciones externas y/o incidentes.
- Modo de operación de tráfico unidireccional, bidireccional, cambiable, o reversible.

17.15. REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DE PROTECCIÓN CONTRA EL FUEGO

Los requerimientos mínimos de protección contra el fuego y salvaguardas basados en la longitud del túnel, son categorizados de la siguiente manera por la NFPA 502:

Categoría X

Cuando la longitud del túnel es menor a 90m, deberá elaborarse un análisis de ingeniería así como una evaluación de la protección de elementos estructurales ya que sin importar la longitud deberán ser incluidos dentro del diseño del túnel los medios aceptables para proteger todos los elementos primarios estructurales de concreto y metal; y los sistemas de control de tráfico deberán ser instalados para túneles más largos que 240 m.

Estos deberán contar con medios para frenar el tráfico antes de entrar directamente al túnel y así controlar el tráfico dentro del túnel, y limpiar el tráfico de la zona de abajo del sitio del fuego después de la activación de una alarma de incendio en el túnel.

Categoría A

Cuando la longitud del túnel es de 90m o mayor, se deberá de realizar un análisis de ingeniería, así como una evaluación de la protección estructural de los elementos ya que sin importar la longitud deberán ser incluidos dentro del diseño del túnel los medios aceptables para proteger todos los elementos primarios estructurales de concreto y metal; así como un sistema de tuberías y de control de tráfico el cual deberá ser instalado para túneles más largos que 240 m que deberán contar con medios para frenar el tráfico antes de entrar directamente al túnel, para controlar el tráfico dentro del túnel, y para limpiar el tráfico de la parte de abajo del sitio del fuego después de la activación de una alarma de incendio en el túnel.

Categoría B

Cuando la Longitud es igual o superior a 240 m y cuando la distancia máxima desde cualquier punto dentro del túnel a un punto de seguridad exceda 120m, todos los requisitos de la Norma NFPA 502 deberán aplicar a menos que se indique lo contrario en dicha norma o este capítulo.

Categoría C

Cuando la longitud del túnel sea igual o exceda 300m, todos los requisitos de la Norma NFPA 502 se deberán aplicar a menos que se indique lo contrario en la Norma o en este capítulo.

Categoría D

Cuando el túnel sea igual o superior a 400m, todos los requisitos de esta norma deberán aplicarse.

REFERENCIAS

- 1 Abella A. / García I. / Hacar F. El Túnel, Un Paso Más en el Camino, Seguridad, Normativa e Instalaciones. Arts&Press, 2012.
- 2 Asociación Mundial de Carreteras (AIPCR), Manual de Túneles de Carretera, <http://www.piarc.org>, (2011).
- 3 Normativa de EEUU: NFPA 502 Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways, National Fire Protection Association, 2014.
- 4 Normativa Europea: Directiva 2004/54/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo sobre Requisitos Mínimos de Seguridad en Túneles de la Red Transeuropea de Carreteras, 29 de abril de 2004, con corrección de errores de 7 de junio.
- 5 Normativa española: Real Decreto 635/2006, 26 mayo, sobre Requisitos Mínimos de Seguridad en los Túneles de la Red de Carreteras del Estado.
- 6 PIARC. Fire and Smoke Control in Road Tunnels. ISBN 2-84060-064-1.2004. PIARC.
- 7 PIARC. Technical Committee C.5. “*Systems and Equipment for Fire and Smoke Control in Road Tunnel*”, 2007.
- 8 PIARC. Technica Committee C.3.3 “*Risk Analysis for Road Tunnels*”, 2008.
- 9 Normativa SCT. N-PRY-CAR-10-01-001-13, 2013
- 10 Normativa SCT. N-PRY-CAR-10-01-002-13, 2013
- 11 Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Manual de Dispositivos para el Control del Tránsito en Calles y Carreteras, 2013.

