



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA
(PUEI)**

**ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS INTELIGENTES DE
TRANSPORTE PARA MEJORAR LA SEGURIDAD VIAL EN EL TÚNEL
“EL SINALOENSE” DE LA CARRETERA DE CUOTA DURANGO-
MAZATLÁN, RUTA MEX-40D, EN EL ESTADO DE SINALOA.**

T E S I N A

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO ESPECIALISTA EN VÍAS TERRESTRES**

P R E S E N T A:

ING. IVAN RUBIO GARCÍA



DIRECTORA DE TESINA:

**ING. ESP. GRISSEL ABRIL ROJAS GUERRERO
Ciudad Universitaria, CDMX. enero 2025**

Tabla de contenido

Glosario.....	1
Introducción.....	2
Objetivo.....	2
Alcance.....	2
Problemática.....	2
1. Primer capítulo: Marco Teórico.....	4
1.1. ¿Qué son los Sistemas Inteligentes de Transporte?.....	4
1.2. Ventajas de los SIT.....	4
1.3. Antecedentes de aplicación de SIT.....	4
1.4. Primeras aplicaciones de los SIT en túneles.....	5
1.5. Marco normativo.....	6
1.5.1. Normativa Nacional.....	6
1.5.2. Normativa Internacional.....	8
2. Segundo capítulo: Descripción del Túnel "El Sinaloense".....	9
2.1. Ubicación.....	9
2.2. Características físicas.....	10
2.2.1. Túnel principal.....	10
2.2.2. Túnel auxiliar.....	19
2.3. Datos de tránsito.....	22
2.4. Historial de siniestralidad.....	22
2.4.1. Siniestros viales en el túnel "El Sinaloense".....	24
2.4.2. Siniestros viales en otros túneles de la Carretera Durango-Mazatlán.....	25
3. Tercer capítulo: Análisis de Riesgos.....	27
3.1. Análisis de causas de los siniestros.....	27
3.1.1. Exceso de velocidad.....	27
3.1.2. Condiciones climáticas.....	27
3.1.3. Cansancio y fatiga.....	27
3.1.4. Infraestructura deficiente.....	27
3.1.5. Inseguridad.....	27
3.1.6. Vandalismo.....	28
4. Cuarto capítulo: Implementación de los SIT.....	29
4.1. Sistemas adaptados al túnel "El Sinaloense".....	29
4.1.1. Centro de Control (CDC).....	29

4.2.	Sistema Inteligente de Ventilación.....	31
4.2.1.	Tipos de ventilación en túneles.....	31
4.2.2.	Comportamiento de los humos	34
4.2.3.	Comportamiento humano	34
4.2.4.	Objetivos	35
4.2.5.	Equipos.....	35
4.2.6.	Funcionamiento del sistema.....	44
4.3.	Sistema Inteligente de Gestión de Tráfico	47
4.3.1.	Objetivos	47
4.3.2.	Equipos.....	48
4.3.3.	Funcionamiento del sistema.....	55
4.4.	Sistema Inteligente de Comunicación con el Usuario.....	58
4.4.1.	Objetivos	58
4.4.2.	Equipos del sistema	58
4.4.3.	Funcionamiento del sistema.....	64
4.5.	Sistema Inteligente de Extinción de Incendios	68
4.5.1.	Objetivos	68
4.5.2.	Cuarto de bombas	68
4.5.3.	Puntos de toma.....	71
4.5.4.	Funcionamiento del sistema.....	73
5.	Quinto capítulo: Consideraciones Sociales y Económicas	75
5.1.	Consideración de aspectos sociales	75
5.1.1.	Disminución de víctimas.....	75
5.1.2.	Instalaciones hospitalarias.....	77
5.1.3.	Trabajo y prestaciones	78
5.1.4.	Eficiencia vial.....	79
5.1.5.	Accesibilidad	79
5.1.6.	Combate a la inseguridad.....	80
5.2.	Consideración de aspectos económicos	81
5.2.1.	Costo de Operación.....	81
5.2.2.	Desarrollo económico y competitividad	82
5.2.3.	Costo por siniestros viales	82
6.	Sexto capítulo: Conclusiones y Recomendaciones.....	85
6.1.	Síntesis de los hallazgos y resultados obtenidos	85
6.1.1.	Mejoras en materia de Seguridad vial.....	85
6.2.	Recomendaciones para futuras investigaciones y acciones de mejora continua en seguridad vial en túneles	92
	Croquis de los SIT y señalamiento vertical actual del túnel “El Sinaloense”	93
	Bibliografía.....	94

“Cuando te haya enseñado los caminos de la sabiduría, cuando haya orientado tu ruta, caminarás sin vacilar y podrás correr sin miedo a caerte.”

Proverbios 4,11.

Agradecimientos

A Paulina, Luna de mi vida; y Ariana Isabel, mi dulce niña.

Agradezco a mis padres, Adán y Melina, por su amor y apoyo incondicional; a mis hermanos, Arturo y Dana Valeria, por su qu y sus ánimos; a mis queridos abuelos, quienes me guían a seguir el camino correcto.

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México, mi alma máter, por la oportunidad de continuar mejorando profesional y humanamente.

Agradezco a la Facultad de Ingeniería, por otro año lleno de aprendizajes.

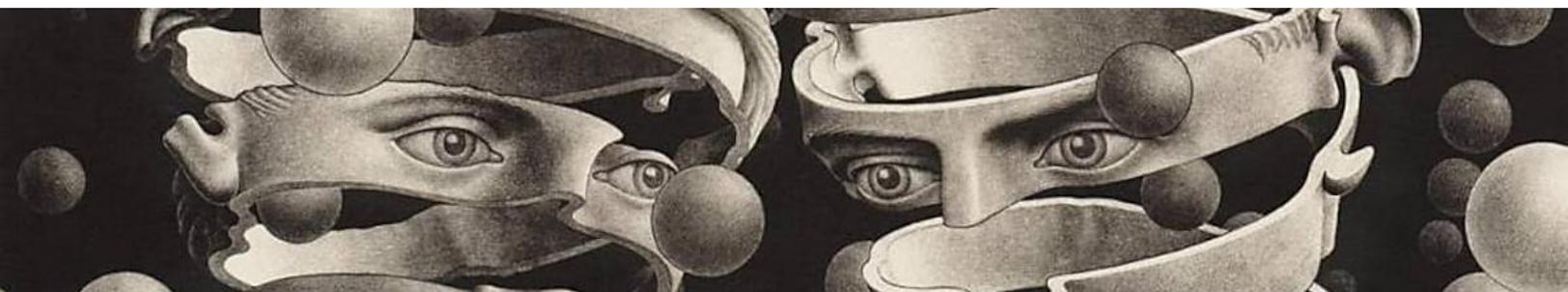
Agradezco a los profesores y coordinación de la Especialidad en Vías Terrestres, quienes compartieron su conocimiento y sus valores con nosotros, los alumnos.

Agradezco especialmente a mi maestra, la Ing. Esp. Grissel Abril Rojas Guerrero, por sus consejos, seguimiento y su inspiradora forma de impartir cátedra.

Agradezco al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías por la ayuda para la conclusión de mis estudios.

Agradezco al Arq. Héctor Bautista por la oportunidad de permitirme continuar mi estancia profesional en su empresa a la vez que estudiaba la Especialidad.

Finalmente quiero agradecer a los familiares, amigos, colegas y compañeros que me acompañaron en esta etapa de mi vida.



Glosario

Término	Definición
AMITOS	Asociación Mexicana de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas.
CAPUFE	Camino y Puentes Federales de Servicios Conexos.
CCTV	Circuito Cerrado de Televisión.
CDC	Centro de Control
DGST	Dirección General de Servicios Técnicos
IMT	Instituto Mexicano del Transporte.
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
MDCTC	Manual de Diseño y Construcción de Túneles de Carretera.
NFPA	Asociación Nacional de Protección Contra Incendios.
OMS	Organización Mundial de la Salud.
PIARC	Asociación Mundial de Carreteras.
SEDATU	Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano.
SICT	Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (antes SCT).
SICU	Sistema Inteligente de Comunicación con el Usuario.
SIEI	Sistema Inteligente de Extinción de Incendios.
SIGT	Sistema Inteligente de Gestión de Tráfico.
SIV	Sistema Inteligente de Ventilación.
SIT	Sistema(s) Inteligente(s) del Transporte.
Túnel	Estructura vial subterránea que permite el paso de personas o vehículos.
TDPA	Tránsito Diario Promedio Anual.

Introducción

De acuerdo con datos demográficos del INEGI, de 2010 a 2020 la población de México aumentó en más de 14 millones de personas, este notorio aumento de la población y de la expansión metropolitana en las ciudades mexicanas ha dado paso al incremento en la demanda de servicios, especialmente en lo que respecta a infraestructura Carretera. La construcción de nuevas vías de comunicación ha impulsado la economía nacional, atraído inversión privada, interconectado comunidades rezagadas, así como mejorado la calidad de vida de las personas con la disminución de los tiempos de traslado; sin embargo, las obras viales conllevan continuos costos de mantenimiento y conservación con el objetivo de mantener su operación normal.

Según la OMS, en el “Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial 2023”, los siniestros de tránsito causaron 1.19 millones de muertes en el 2021, una tasa de 15 fallecidos por cada 100,000 habitantes, siendo los jóvenes de 5 a 29 años los más afectados a causa de los traumatismos; las cifras son alarmantes considerando las repercusiones sociales y económicas que ocasionan los decesos. Las muertes, lesiones y discapacidades repercuten gravemente a las familias de las víctimas y a la economía nacional debido a los siniestros viales.

En México, con el fin de implementar una mejora en el bienestar de la sociedad y dar continuidad al Plan Mundial para el decenio de acción para la seguridad vial 2011-2020, a finales del 2020 se reformó el artículo 4 Constitucional estableciendo la importancia de la movilidad en condiciones de seguridad vial accesibilidad, eficiencia, sostenibilidad, calidad, inclusión e igualdad. Posteriormente, en 2022 se promulgó la Ley General de Movilidad y Seguridad Vial otorgando así una gran importancia a mejorar la seguridad vial de la Red Carretera Nacional. A grandes rasgos, la Ley indica, entre otros aspectos, lo siguiente:

- Disminuir los impactos negativos a la sociedad bajo el enfoque de los sistemas seguros.
- Reducir las muertes y lesiones graves provocadas por siniestros viales.
- Establecer la gestión de los factores de riesgo para salvaguardar la vida e integridad física de los usuarios del sistema de movilidad.

La aplicación de la Ley se ha visto reflejada en la implementación de sistemas seguros, por ello, en el presente trabajo se desarrollará el análisis e implementación de Sistemas Inteligentes del Transporte (SIT) como una estrategia integral para mejorar la seguridad vial en túneles, enfocándonos en el túnel "El Sinaloense", abarcando el análisis de los problemas y riesgos actuales hasta la implementación de soluciones tecnológicas.

Objetivo

Describir los Sistemas Inteligentes de Transporte instalados en el túnel “El Sinaloense”, de 2799 metros de longitud, ubicado en la Carretera de Cuota MEX-040D, km 168+468 en el estado de Sinaloa, que mejoran la seguridad vial en el túnel y coadyuvan con la disminución de la siniestralidad.

Alcance

El análisis y aplicación de los Sistemas Inteligentes del Transporte mencionados en este documento está delimitado y definido al uso en túneles mexicanos de igual o menor dimensión, con o sin túnel auxiliar.

Problemática

El 7 de abril de 2024, se produjo un siniestro en la Autopista Durango-Mazatlán, cuando dos tráileres que transportaban alimentos colisionaron dentro de un túnel; este choque por alcance generó un incendio en el interior del túnel causando importantes daños materiales. El siniestro ocurrió cerca del portal de salida en el lado de Mazatlán del túnel, lo que provocó la interrupción total del tránsito vehicular en ambos sentidos.

Uno de los factores más críticos del siniestro fue la densa nube de humo originada por el incendio, la cual se propagó rápidamente a través del túnel. Esta situación se agravó debido a las condiciones climáticas adversas que dificultaron la ventilación natural del espacio, exacerbando los riesgos para los usuarios atrapados en el interior, muchos de ellos desconocían la naturaleza exacta del peligro y no recibieron información oportuna ni instrucciones claras.

La falta de protocolos de seguridad adecuados y de sistemas de comunicación eficientes contribuyó a la confusión. Desde el punto de vista de los usuarios, el desconocimiento de la situación fue alarmante, al percatarse de la presencia de humo en la bóveda del túnel, muchos abandonaron sus vehículos en un intento desesperado por escapar, pero sin saber con certeza cómo proceder. La ausencia de medidas preventivas, como señalización adecuada, sistemas de alarma, y procedimientos de evacuación claros, dejó a los ocupantes en una situación de alto riesgo, incrementando la gravedad del incidente.



Imagen. Secuelas del incendio dentro del túnel. Fuente: lineadirectaportal.com

Este suceso pone de manifiesto la necesidad urgente de implementar soluciones tecnológicas y organizativas para prevenir y mitigar los impactos de los siniestros viales en túneles. Es fundamental establecer Sistemas Inteligentes de Transporte (SIT) que permitan monitorear y gestionar eficazmente las condiciones dentro de los túneles, así como informar de manera inmediata a los usuarios sobre situaciones de emergencia. Con el objeto de informar a los usuarios y reducir el número de muertos y heridos en túneles por causa directa o indirecta de los siniestros viales, la presente tesina está orientada al análisis e implementación de Sistemas Inteligentes que mejoren las condiciones de seguridad vial dentro y fuera de túneles carreteros.

1. Primer capítulo: Marco Teórico

1.1. ¿Qué son los Sistemas Inteligentes de Transporte?

En las Vías Terrestres, los Sistemas Inteligentes de Transporte (SIT o ITS, *Intelligent Transport Systems*) son instrumentos informáticos que buscan mejorar la seguridad, movilidad y eficiencia del transporte facilitando el control, gestión y seguimiento de los vehículos dentro de la infraestructura vial. Los SIT reciben información sobre diferentes elementos de interés dentro de las Carreteras para analizarlos, procesarlos y utilizarlos con el fin de guiar al conductor, mejorar la fluidez y el confort.

1.2. Ventajas de los SIT

Algunas de las ventajas que ofrecen los Sistemas Inteligentes de Transporte son las siguientes:

- Mejoran la seguridad vial y tiempo de trayecto de los usuarios.
- Comunican información en tiempo real a los usuarios.
- Mejoran la productividad del sistema vial.
- Solucionan problemas de gestión de tráfico y movilidad.
- Ayudan a disminuir la generación de gases de efecto invernadero.



Imagen. Paneles de Mensaje Variable en la Supervía Poniente. Fuente: Google Maps.

1.3. Antecedentes de aplicación de SIT

Las aplicaciones de los Sistemas Inteligentes de Transporte tuvieron sus inicios durante la segunda mitad del siglo XX con el auge de la construcción de Carreteras y vías férreas para el transporte de carga y pasajeros. Los SIT aplicados a Carreteras y vías urbanas tuvieron una variedad de resultados; en un primer intento por integrar informática a los sistemas viales, a principios de diciembre de 1988 algunos países europeos ya hablaban en el Coloquio del IEE sobre la Información para conductores mediante el proyecto DRIVE (*Dedicated road infrastructure for vehicle safety in Europe*), traducido como Infraestructura vial dedicada a la seguridad vial de los vehículos en Europa, la cual fue una iniciativa de la CEC o Comisión de la Comunidad Europea, con el objetivo de mejorar la eficiencia del transporte, reducir los contaminantes y mejorar la seguridad de los usuarios con el uso de sistemas informáticos a bordo de los vehículos y colocados en las Carreteras. Un pionero de la aplicación de Sistemas Inteligentes fue el Proyecto EUREKA PROMETHEUS (Programa para el transporte europeo con eficiencia y seguridad sin precedentes), el cual mediante inversión pública y privada, fue de los mayores proyectos de investigación y desarrollo de Europa para el transporte, el proyecto buscaba la

autonomía de los vehículos para reducir cifras de siniestros viales mediante tecnología con el fin de proporcionar asistencia a bordo y buscar una interconexión con los demás vehículos y la misma Carretera.

Por otro lado, los países asiáticos como Japón pudieron afrontar los desafíos de la implementación de los SIT mediante tecnologías como la VICS (Sistema de Información y comunicación entre vehículos), la cual fue desarrollada y lanzada en 1996, desplegada a nivel nacional entre los nipones y disponible desde el 2003, con el objetivo de proporcionar detalles del tráfico local y los viajes a los conductores en Carretera mediante mapas sencillos que permitían conocer la ubicación y mejores rutas, evitando zonas de congestión y demoras.

En el continente americano el país más tecnológicamente desarrollado, Estados Unidos, implementó en 1956 la Ley de Carreteras de ayuda federal con lo cual expandió su red vial de manera vertiginosa en los años posteriores; con la llegada de nueva infraestructura el Gobierno californiano llevó a cabo el programa PATH (Socios para el tránsito avanzado y Carreteras de California) en conjunto con la colaboración del Departamento de Transporte de California y la Universidad de Berkley para aplicar tecnologías recientes y aumentar la capacidad y seguridad en las Carreteras mediante la reducción de congestiones y el ahorro de energía. Los resultados de los proyectos antes mencionados sirvieron para la generación de muchas propuestas de mejora y nuevas ideas para dar solución a conflictos del transporte.

1.4. Primeras aplicaciones de los SIT en túneles

Una de las obras de infraestructura más importantes del siglo XX donde se implantaron por primera vez los Sistemas Inteligentes del Transporte para mejorar la movilidad fue el túnel Mont Blanc, que conecta a Italia con Francia por debajo de los Alpes, la construcción de este hito comenzó en 1959 y finalizó en 1965; en 1978 se instalaron cámaras de videovigilancia, y para la modernización del túnel, a principios de 1990, se instalaron Paneles de Mensaje Variable (PMV), nuevas cámaras de seguridad, ocho refugios de emergencia presurizados y un sistema de rociadores de agua para sofocar incendios dentro del túnel.

Con el fin de facilitar la circulación del aire, el túnel se construyó en forma de V invertida; además se necesitó la implementación de ventiladores o “jet fans” para mover las masas de aire hacia el lugar de extracción.



Imagen. Instalación de luminarias en el túnel Mont Blanc. Fuente: BBC.

Aún con todas las medidas antes mencionadas, en marzo de 1999 ocurrió un incendio de un camión que provocó la muerte de 39 personas por la mala gestión de desastres de las dos empresas que operaban el túnel; como consecuencia del siniestro se implementaron mejoras tecnológicas como equipos de detección de gases y un sistema de comunicación con el usuario que se encuentre en los puestos de seguridad para informar sobre la situación con mayor claridad, asimismo se gestionó la creación de una sola empresa operadora para evitar malentendidos en situaciones críticas, la instalación de un puesto de bomberos en el medio del túnel, puestos de seguridad adicionales y un punto de control remoto de seguimiento de seguridad a las mercancías.



Imagen. Incendio de 1999 en el túnel Mont Blanc. Fuente: Debate.com.

1.5. Marco normativo

Las Leyes, Normas y Reglamentos aplicables a túneles se han ido actualizado a lo largo de los años; en México, la DGST de la SICT, en conjunto con el IMT y otras asociaciones civiles han desarrollado textos técnicos dirigidos a los estudios, proyectos, diseño, construcción, operación y mantenimiento de túneles. Los referentes internacionales en materia de seguridad vial son Estados Unidos y la Unión Europea con su normativa avanzada acorde a la compleja red de transporte que operan; sin embargo, cabe mencionar que las leyes de otros países, como los asiáticos, se encuentran en auge debido a sus ambiciosos proyectos. Los siguientes documentos, nacionales e internacionales, muestran las bases sobre las cuales se edifican y operan túneles así como los Sistemas Inteligentes ligados a éstos.

1.5.1. Normativa Nacional

Manual de Diseño y Construcción de Túneles de Carreteras (2016)

El MDCTC, en su primera versión del año 2016, establece en 19 capítulos los lineamientos necesarios para guiar y uniformizar los criterios desde el proyecto hasta la ejecución y la operación de túneles en territorio mexicano debido a la creciente demanda de nueva y mejor infraestructura Carretera. De acuerdo con el capítulo 1 del Manual, la elaboración fue encargada a la empresa Consultec Ingenieros Asociados, S.C., revisada por un grupo de ingenieros especialistas de la DGST y la Dirección General de Carreteras, apoyados por la AMITOS. Los capítulos del Manual que se aplican a los SIT son los siguientes:

- Capítulo 16. Ventilación.
- Capítulo 17. Sistemas de Seguridad y Control.
- Capítulo 19. Operación y Mantenimiento.

Normativa para la Infraestructura del Transporte

La Normativa para la Infraestructura del Transporte de la SICT es la documentación técnica actualizada que incluye avances tecnológicos y jurídicos para la correcta ejecución de trabajos en materia de infraestructura del transporte, la cual viene dividida en Libros que contienen criterios desde como ejecutar proyectos de obra a partir de la Legislación aplicable como la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas, y su Reglamento, hasta las características de los sistemas aplicables a Carreteras. Las Normas, Manuales y Prácticas Recomendables aplicables a los SIT se especifican principalmente en los siguientes Libros:

- PRY. Proyecto.
- CTR. Construcción.
- CSV. Conservación.
- OPR. Operación.
- EIP. Características de los Equipos y Sistemas de Instalación Permanente.

Manual para Proyectos de Sistemas Inteligentes de Transporte [ITS] en Carreteras

La primera edición de este Manual fue publicada por la Subsecretaría de Infraestructura de la antigua SCT (ahora SICT) en el 2016, orientada a proporcionar una guía para el conocimiento e integración de proyectos de SIT en un formato simple y breve. En resumen, el Manual contiene las características de funcionalidad de los SIT, la elegibilidad de varios sistemas en función de las infraestructura y las prácticas recomendables en su implementación.

Manual para la Implementación de Soluciones ITS en la Red Carretera Nacional

Este Manual fue publicado en el 2021 por la Subsecretaría de Infraestructura de la antigua SCT (ahora SICT) y la DGST con el objetivo de orientar la funcionalidad de los SIT con tecnologías específicas y beneficiar a los usuarios de la red Carretera nacional.

Lineamientos Técnico-Operativos para el Diseño, Implementación, Operación y Mantenimiento de Sistemas ITS en Túneles y su Área de Influencia

Los Lineamientos de este documento proporcionan una herramienta fundamental para la conceptualización de proyectos ITS en túneles, así como los estándares y parámetros técnicos fundamentales para la instalación y puesta en marcha de los equipos.

NOM-002-STPS-2010

Esta Norma denominada “Condiciones de seguridad-Prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo” establece los requerimientos para la prevención y protección ante los incendios en cualquier lugar de trabajo, ello incluye la casa de bombas y la infraestructura Carretera.

NOM-034-SCT2/SEDATU-2022

Esta Norma denominada “Señalización y dispositivos viales para calles y Carreteras” se publicó en el Diario Oficial de la Federación el 19 de septiembre del 2023, en conjunto con el “Manual de Señalización y Dispositivos para el Control del Tránsito en Calles y Carreteras”, y cuya primera edición fue en 2023 por parte de la SICT y la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU) con el objetivo de instaurar un documento que contenga los lineamientos, criterios y procedimientos para la correcta aplicación de señalamiento en vialidades. El Manual incluye las características generales de los elementos de señalización en la infraestructura vial, así como la instalación, uso, cuidado y mantenimiento.

1.5.2. Normativa Internacional

PIARC

- Manual de túneles de Carretera.
- Características del incendio de proyecto en túneles de Carretera (2017).
- Túneles de Carretera: Emisiones de vehículos y demanda de ventilación (2019).
- Manual Explotación de la Red Vial & Sistemas Inteligentes de Transporte.

Reino de España

- Real Decreto 635/2006, de 26 de mayo de 2006, sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de Carreteras del Estado.

Estados Unidos de América

- NFPA 502, Norma para Túneles Viales, Puentes y Otras Carreteras de Acceso Limitado (2023).
- NFPA 101, Código de Seguridad Humana (2021).
- NFPA 92, Norma para los Sistemas de Control de Humo (2024).

República Francesa

- Expediente piloto para equipos de túneles (2003).
- Fólder Maestro de Túneles, Documento No.5: Medio ambiente (2011).

República Popular China

- Ley de Seguridad Vial (2003).
- Reglamento de Implementación de la Ley de Seguridad Vial (2004).

2. Segundo capítulo: Descripción del Túnel "El Sinaloense"

2.1. Ubicación

El túnel "El Sinaloense" se ubica del Km. 171+234 al Km. 168+468 de la Carretera Federal Cuota 40D en el municipio de Concordia, Sinaloa, a una elevación de 1 420 metros sobre el nivel del mar, encontrándose en el corazón de la Sierra Madre Occidental, a 92 kilómetros del puerto de Mazatlán, lo que equivale a un viaje de aproximadamente una hora y media, y a 181 kilómetros de Victoria de Durango, lo que equivale a un viaje de aproximadamente dos horas y media.

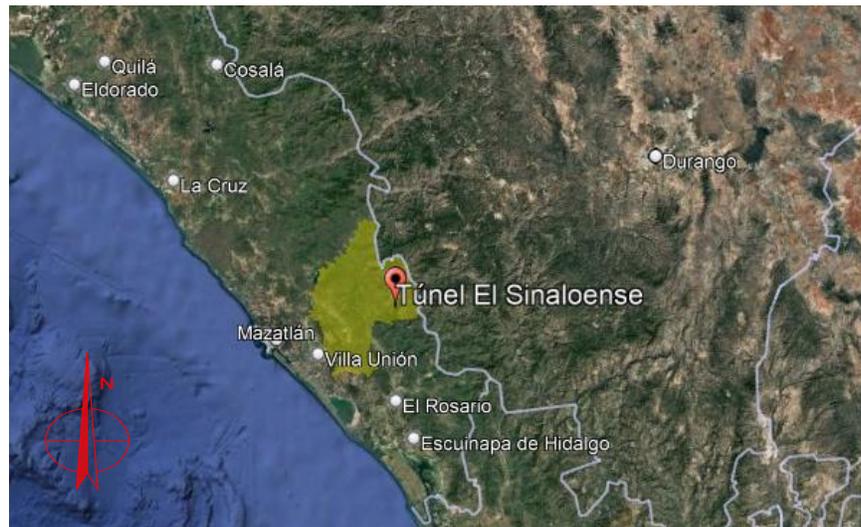


Imagen. Ubicación del túnel "El Sinaloense". Fuente: Google Earth Pro.

Para futuras referencias del tramo analizado, a las entradas del túnel "El Sinaloense" las llamaremos "Lado Mazatlán" y "Lado Durango".



Imagen. Referencia de los lados del túnel. Elaboración propia.



Imagen. Entrada del “Lado Durango” en el Km. 168+468. Fuente: Google Maps.



Imagen. Entada del “Lado Mazatlán” en el Km. 171+234. Fuente: Google Maps.

La altitud del portal en el lado Mazatlán es de 1360 [m.s.n.m.] mientras que la altitud del portal en lado Durango es de 1428 [m.s.n.m.], teniendo una diferencia de altitud entre portales de 68 metros.

2.2. Características físicas

2.2.1. Túnel principal

El túnel “El Sinaloense”, con una longitud de 2,799 metros, es considerado el tercer túnel más largo de México, por detrás del Macrotúnel de la Escénica Alternativa en Acapulco y del Maxitúnel Interurbano Acapulco de 3.3 kilómetros y 2.95 kilómetros de largo respectivamente.

Alineamientos

El diseño geométrico del túnel contempla un alineamiento horizontal predominantemente tangente y un alineamiento vertical en forma de V invertida con una pendiente subterránea más corta en el “lado Mazatlán”, esto significa que los usuarios que vayan desde Sinaloa a Durango tendrán una pendiente continua una vez llegando al cadenamiento 170+800, con 2,300 metros de túnel por delante.

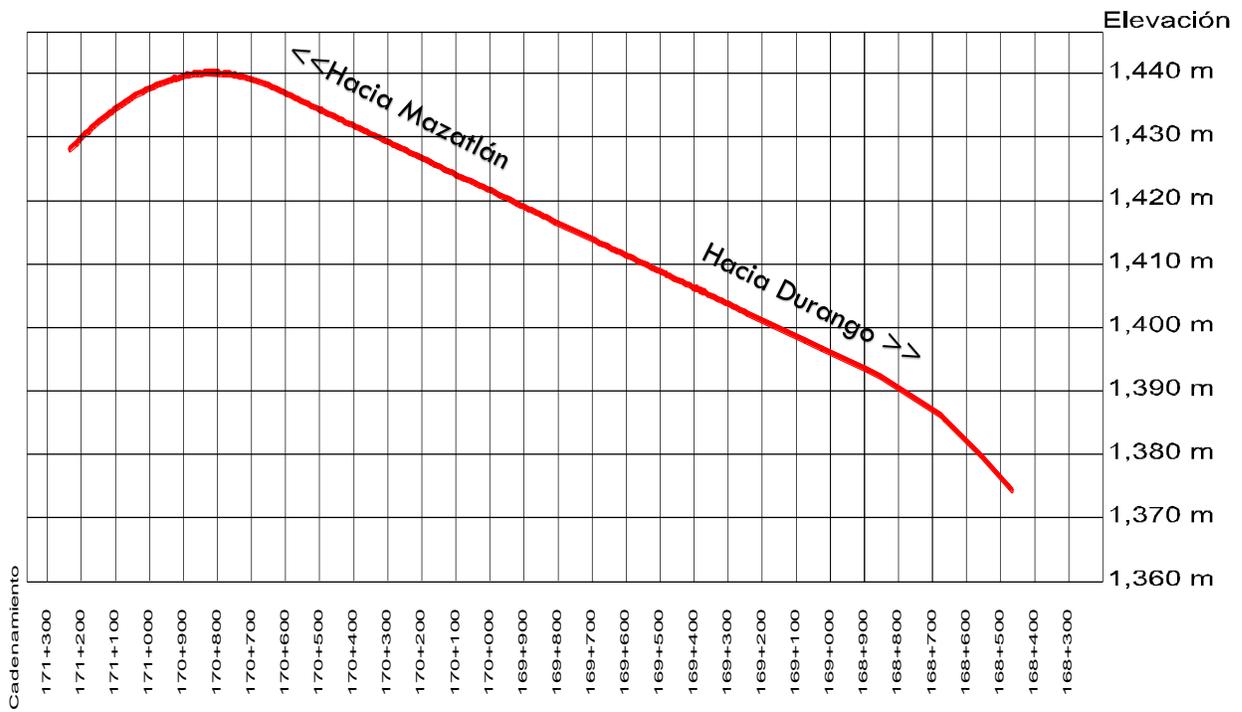


Imagen. Alineamiento vertical del túnel. Elaboración propia.

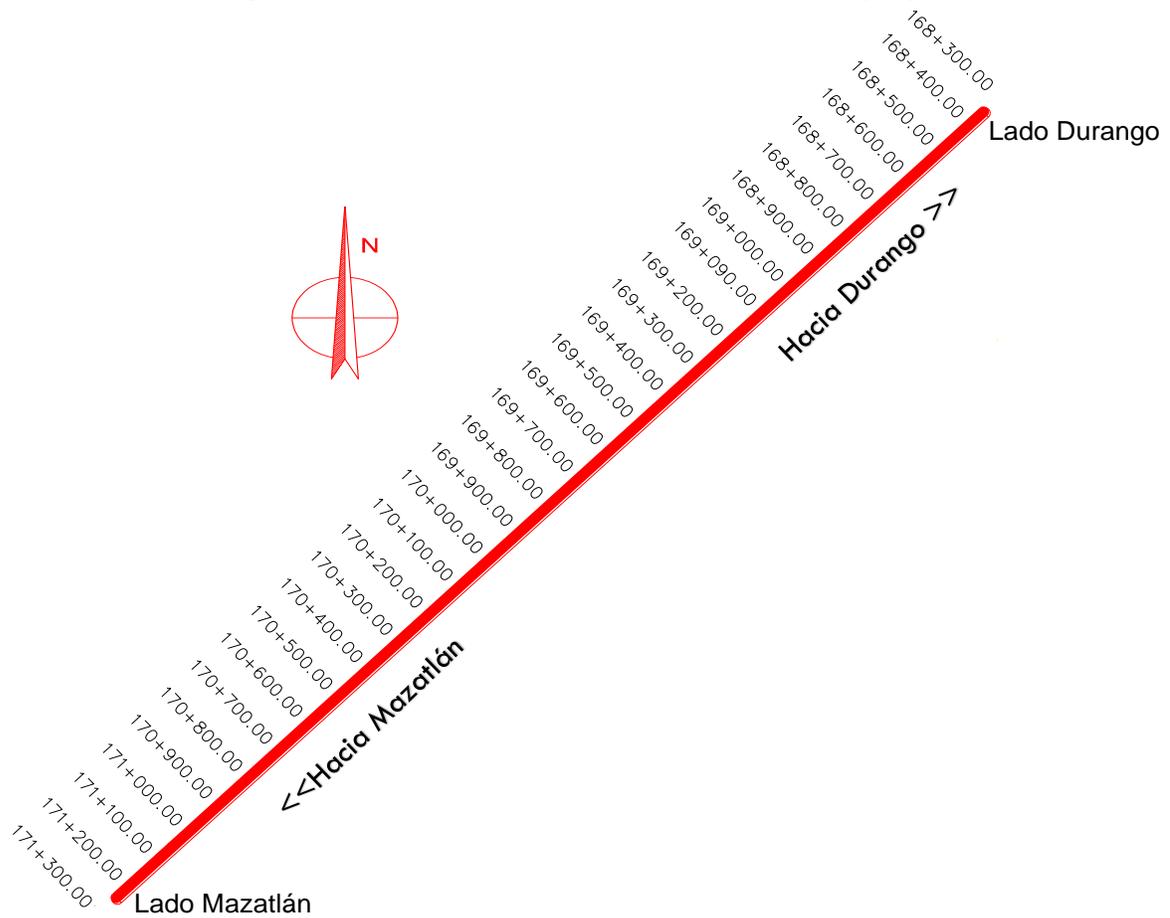


Imagen. Alineamiento horizontal del túnel. Elaboración propia.

Sección

La altura de “El Sinaloense” es de 7.80 metros, dando un área total de 95.00 metros de la sección. La Autopista tiene 2 carriles, con un sentido bidireccional de circulación. El túnel cuenta con una guarnición de 80 centímetros de ancho en ambos sentidos para el tránsito de peatones, solo en caso de emergencia.

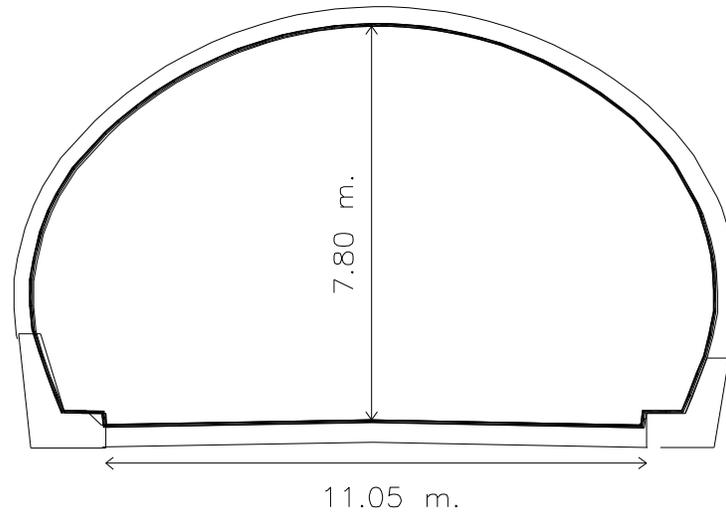


Imagen. Sección de las entradas del túnel. Elaboración propia.

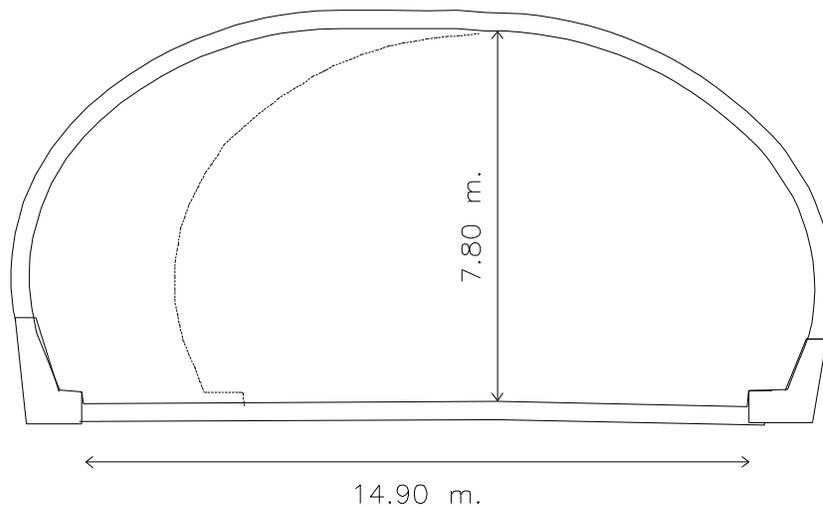


Imagen. Sección del túnel con bahía de emergencia. Elaboración propia.

Superficie de rodadura

La superficie de rodadura de la Autopista en el túnel son losas de concreto hidráulico texturizado con separaciones de juntas transversales de contracción y juntas de construcción, mientras que a las afueras del túnel la superficie de rodadura es de pavimento asfáltico.

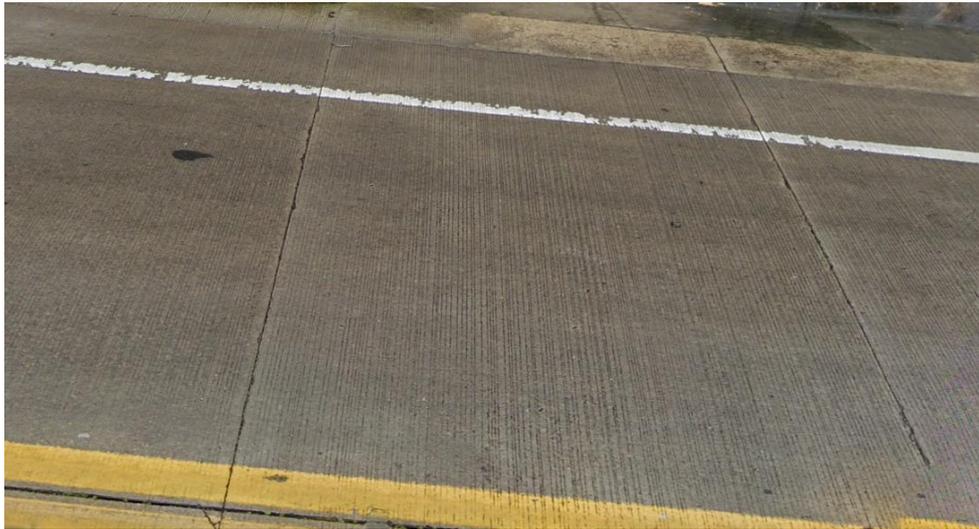


Imagen. Concreto hidráulico texturizado. Fuente: Google Maps.



Imagen. Diferencia de superficies de rodadura. Fuente: Google Maps.

Señalamiento horizontal

En materia de señalización vial, la señalización horizontal del túnel consta de la raya amarilla continua para separar los sentidos de circulación y la raya blanca continua para delimitar el arroyo vial; además se cuenta con botones blancos y amarillos, así como botones reflejantes en la superficie del hastial para resaltar la geometría del carril.

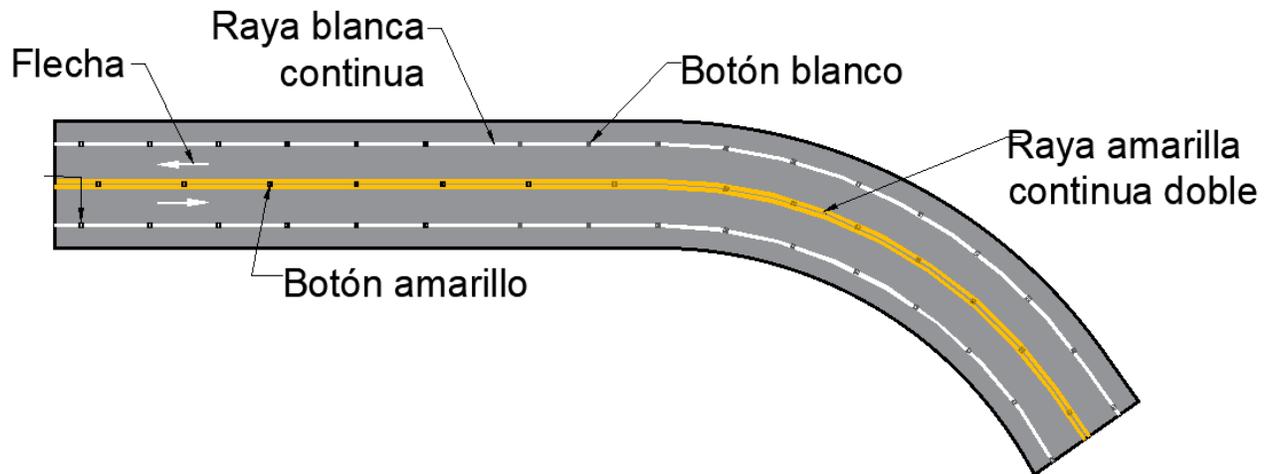


Imagen. Señalamiento horizontal del túnel. Elaboración propia.



Imagen. Vialita reflejante. Fuente: Safety store.

Señalamiento vertical exterior

En las entradas del túnel se encuentra una señal elevada informativa de destino, la cual especifica lo siguiente:

Leyenda: TUNEL EL SINALOENSE Longitud: 2,799 m. Elevación: 1414.0 m.

Señales: Túnel, Ampliación de carril a 700 m., Acceso a túnel auxiliar a 350 m., teléfono a 750 m., extintor a 750 m.



Imagen. Señalamiento vertical del túnel. Fuente: Google Maps.

Asimismo, se pueden encontrar señales verticales tanto preventivas, restrictivas e informativas. Las señales que se encuentran antes de ingresar al túnel son las siguientes:



Imagen. Encienda sus luces. Fuente: Google Maps.



Imagen. Zona de niebla. Fuente: Google Maps.



Imagen. Velocidad. Fuente: Google Maps.



Imagen. Teléfono de emergencias CAPUFE. Fuente: Google Maps.



Imagen. Señal informativa del túnel. Fuente: Google Maps.



Imagen. Túnel. Fuente: Google Maps.



Imagen. Prohibido estacionarse. Fuente: Google Maps.



Imagen. Pendiente descendiente. Fuente: Google Maps.

A las afueras del túnel, y como parte de las mejoras en seguridad vial que se implementaron desde su construcción, se instalaron Paneles de Mensaje Variable elevados con flechas que indican el sentido del tránsito.



Imagen. Panel de Mensaje Variable. Fuente: Google Maps.

Señalamiento vertical interior



Imagen. Señal vertical de SOS. Fuente: Google Maps.



Imagen. Prohibido rebasar. Fuente: Google Maps.



Imagen. Ampliación a la derecha. Fuente: Google Maps.

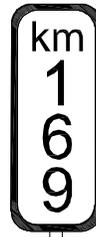


Imagen. Distancia en kilómetros sin escudo. Elaboración propia.

Dentro del túnel y para dirigir a los usuarios hacia el túnel auxiliar en caso de emergencia, existe el señalamiento siguiente:



Imagen. Salida de emergencia. Fuente: Javier Cabrera.

En el interior del túnel se puede encontrar que los hastiales se encuentran pintados de blanco, las guarniciones se encuentran pintadas de amarillo; asimismo, se ubican en algunas partes señalamientos que indican las distancias tanto a los portales del túnel como a las entradas del túnel auxiliar.

En la entrada del túnel se encuentran marcas alternadas de blanco y negro a 45°, expresando la presencia de una estructura.

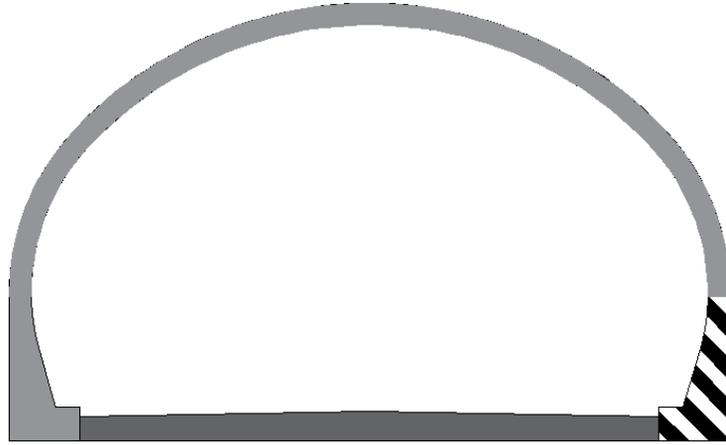


Imagen. Marcas en la estructura. Elaboración propia.

Lo que hay que resaltar del interior del túnel en materia de señalamiento son los Paneles de Mensaje Variable que se ubican empotrados en el gálibo del túnel, y que proporcionan al usuario información relevante sobre el carril sobre el cual transita y el límite de velocidad en ese momento.

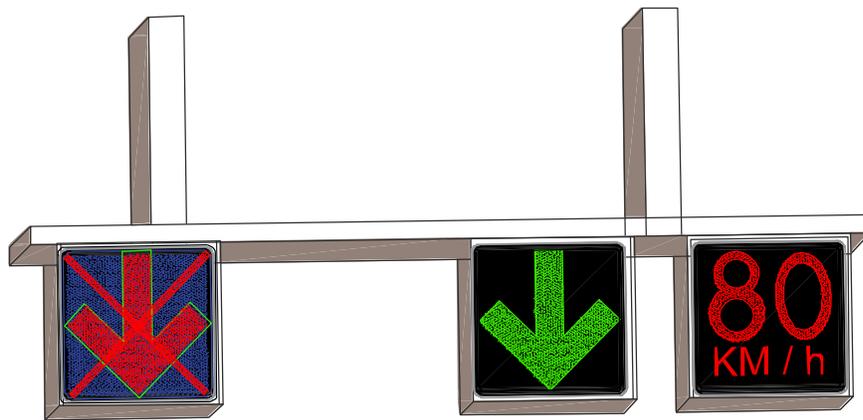


Imagen. Panel de Mensaje Variable del interior del túnel. Elaboración propia.

2.2.2. Túnel auxiliar

Debido a la longitud del túnel “El Sinaloense”, los proyectistas consideraron un túnel auxiliar paralelo al que se puede acceder por medio de galerías con el fin de evacuar a las personas que se encuentren dentro del túnel en caso de una eventualidad como un incendio o un bloqueo.

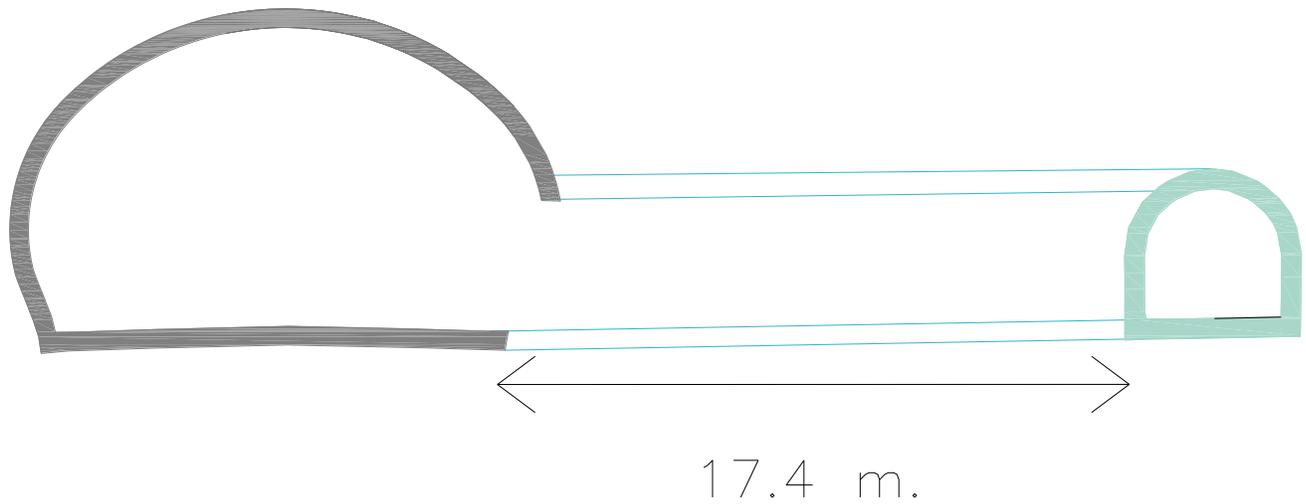


Imagen. Sección de la unión del túnel principal y el túnel auxiliar. Elaboración propia.

El túnel auxiliar tiene la misma longitud del túnel principal (2,799 metros) y su acceso, desde el interior, es a través de siete galerías que conectan ambos túneles; el túnel auxiliar cuenta con sistemas de extracción de aire, videovigilancia y señalamiento a lo largo de la infraestructura con el fin de que los usuarios sean evacuados. Para el acceso a las galerías del túnel auxiliar es necesario cruzar dos puertas de emergencia; se cruzan 17.4 metros de galería antes de llegar al túnel auxiliar.



Imagen. Galería de entrada al túnel auxiliar. Fuente: Javier Cabrera.



Imagen. Salida de emergencia. Elaboración propia.

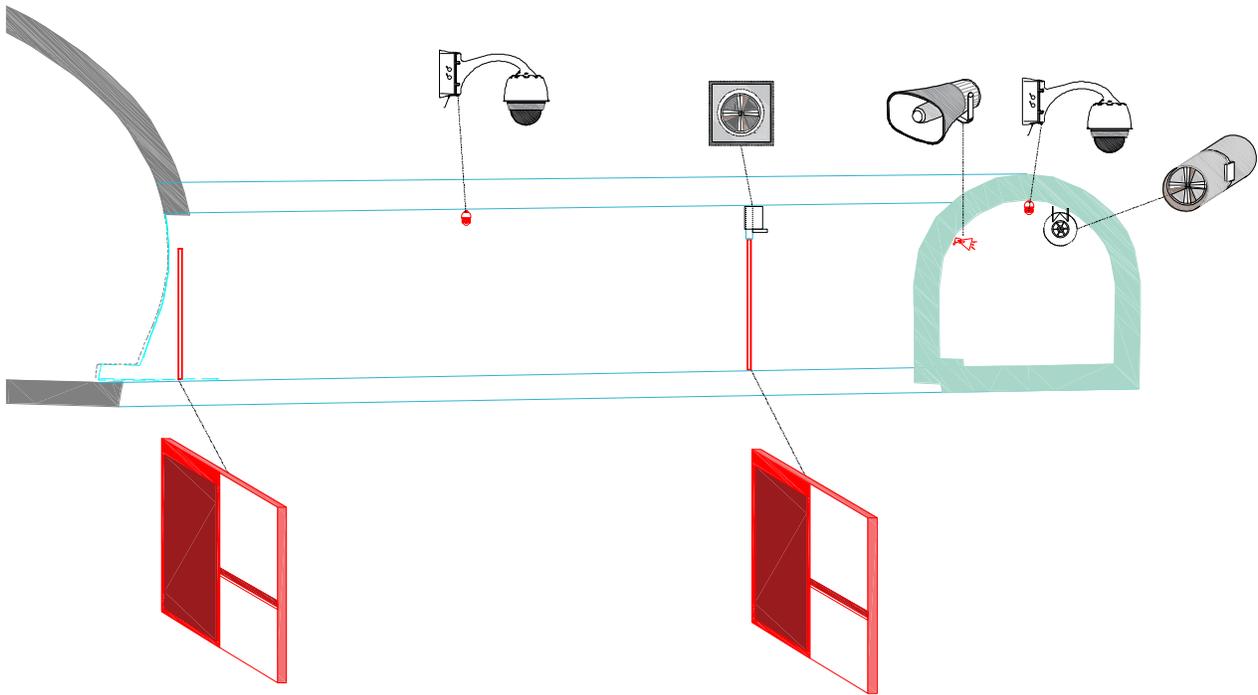


Imagen. Identificación de equipos en la galería y el túnel auxiliar. Elaboración propia.



Imagen. Salida del túnel auxiliar del Lado Mazatlán. Fuente: Javier Cabrera.



Imagen. Salida del túnel auxiliar del Lado Durango. Fuente: Javier Cabrera.

2.3. Datos de tránsito

De acuerdo con los datos de tránsito, la Carretera Durango-Mazatlán, tiene un TDPA de 3,421 vehículos por día.

8 CARR: Durango - Mazatlán (Cuota) CLAVE: 00084 RUTA: MEX-040D AÑO: 2022

LUGAR	ESTACION				CLASIFICACION VEHICULAR EN PORCIENTO											COORDENADAS				
	KM	TE	SC	TDPA	M	A	B	C2	C3	T3S2	T3S3	T3S2R4	OTROS	A	B	C	K'	D	LATITUD	LONGITUD
Libramiento de Durango	21.30	3	0	2990	4.8	68.5	5.7	3.8	2.0	7.7	2.0	4.8	0.7	73.3	5.7	21.0	0.108	0.528	24.005963	-104.731442
Plaza de Cobro Durango	22.20	2	0	4352	1.1	70.0	3.2	2.6	3.1	10.7	1.8	6.4	1.1	71.1	3.2	25.7	0.108	0.500	24.005080	-104.734540
Ent. Otinapa	44.50	1	0	3262	2.4	64.9	5.6	5.2	2.2	10.1	2.0	6.9	0.7	67.3	5.6	27.1	0.104	0.511	23.982301	-104.941939
Plaza de Cobro Llano Grande	73.80	2	0	3936	1.1	67.7	3.4	2.8	3.0	11.8	1.9	7.2	1.1	68.8	3.4	27.8	0.108	0.500	23.864514	-105.233202
X. C. Durango - Villa Unión	80.14	1	0	3997	2.9	62.2	6.4	5.9	2.1	11.6	3.0	5.0	0.9	65.1	6.4	28.5	0.098	0.523	23.857287	-105.251553
T. Der. El Salto 1er Acceso	91.60	1	0	4481	3.0	67.1	4.9	4.5	2.2	10.3	2.8	4.6	0.6	70.1	4.9	25.0	0.087	0.540	23.801375	-105.328162
T. Der. El Salto 2do Acceso	104.20	1	0	2892	4.1	56.8	7.0	8.3	2.2	13.2	3.0	5.1	0.3	60.9	7.0	32.1	0.111	0.521	23.755405	-105.422781
T. Der. El Salto 2do Acceso	104.20	3	0	4206	3.6	61.9	5.5	9.8	2.1	9.6	2.5	4.8	0.2	65.5	5.5	29.0	0.112	0.531	23.759403	-105.433838
T. Der. La Campana	111.00	3	0	3421	4.1	57.6	6.2	8.2	2.4	11.8	3.4	6.2	0.1	61.7	6.2	32.1	0.101	0.504	23.721645	-105.488344
Lim, Edos, Term, Dgo, Ppia, Sin,	157.40	0	0																	
Entronque Santa Lucia	172.20	3	0	3246	5.2	63.0	6.1	4.2	2.2	10.3	2.9	5.7	0.4	68.2	6.1	25.7	0.092	0.500	23.451955	-105.842609
Concordia	213.70	1	0	2733	5.3	60.9	6.3	4.9	2.2	11.3	2.5	6.1	0.5	66.2	6.3	27.5	0.098	0.523	23.262566	-106.046526
Concordia	213.70	3	0	2580	2.5	64.7	6.4	3.8	1.2	12.5	1.9	6.2	0.8	67.2	6.4	26.4	0.136	0.513	23.251171	-106.059748
Villa Unión	229.70	1	0	2855	3.1	64.9	6.4	3.6	1.2	11.9	1.9	6.2	0.8	68.0	6.4	25.6	0.130	0.516	23.199084	-106.168826

Imagen. Datos de tránsito. Fuente: Estadística IMT, 2022.

Asimismo se cuenta con un porcentaje del 32% de vehículos pesados (C).

M	A	B	C2	C3	T3S2	T3S3	T3S2R4	OTROS
4,1%	57,6%	6,2%	8,2%	2,4%	11,8%	3,4%	6,2%	0,1%

Tabla. Clasificación vehicular de la Carretera. Elaboración propia.

2.4. Historial de siniestralidad

Los siniestros viales que han ocurrido dentro del túnel "El Sinaloense" son contados; sin embargo, el registro de siniestralidad en el tramo de la Carretera, incluyendo en otros túneles, ha sido considerable.

N° de ruta	Nombre de la ruta	Longitud (km)	SalDOS					Índices ¹		
			Colisiones	Colisiones con víctimas	Muertos en el sitio	Lesionados	Daños materiales (miles de dólares)	Accidentalidad	Mortalidad	Morbilidad
MEX-040	Reynosa - Mazatlán	1,163.1	246	109	70	153	2,067.2	7.7	2.2	4.8
MEX-040D	Reynosa - Mazatlán (cuota)	838.3	171	63	33	94	1,981.8	9.1	1.8	5.0

Tabla. Diferencia de siniestralidad de la Carretera libre MEX-040 y la cuota MEX-040D. Fuente: Anuario Estadístico de colisiones en Carreteras federales, 2022.

N° de ruta	Clave de carretera	Nombre del tramo	Cadenamiento	SalDOS					TDPA 2021
				Colisiones	Colisiones con víctimas	Muertos en el sitio	Lesionados	Daños materiales (miles de dólares)	
Sinaloa									
MEX-040D 00084	X.C. (Durango - Villa Unión) - C.C. Mesillas	187.5-213.5		12	7	5	8	225.14	2,718

Tabla. Siniestralidad en los tramos de la Carretera MEX-040 en el estado de Sinaloa. Fuente: Anuario Estadístico de colisiones en Carreteras federales, 2022.

En el anuario estadístico del IMT del 2021 el saldo en el túnel “El Sinaloense” fue de dos siniestros viales considerados como colisiones por alcance, con 1 herido por un total de \$343,000 en daños materiales; las causas fueron imputables, en los dos casos, al conductor, al mal estado del camino, y en solo uno de los casos a los agentes externos.

En la estadística de siniestros de tránsito, año 2022 se puede encontrar que en la Carretera cuota hubo 20 siniestros con 6 fallecidos y 23 lesionados resultando en un total de \$6,802,000 en daños materiales. Los índices de siniestralidad muestran que hubo un total de 25.4 siniestros y 6.4 siniestros mortales por cada 100 millones de vehículos*kilómetro de Carretera, siendo este dato el mayor con respecto a otras Carreteras del mismo Estado.

En la estadística de siniestros de tránsito, año 2023 se puede encontrar que en la Carretera cuota disminuyeron los siniestros con respecto al año 2022, pues hubo 16 siniestros con 4 fallecidos y 10 lesionados resultando en un total de \$891,000 en daños materiales. Los índices de siniestralidad continuaron siendo de los mayores del Estado con un total de 10.5 siniestros y 2.6 siniestros mortales, siendo superados solo por el Libramiento Sur de Culiacán que reportó más de 35 siniestros.

De acuerdo con la información otorgada por la Guardia Nacional, y sintetizada por el IMT en los últimos tres años, la Carretera cuota Durango-Mazatlán, en el tramo correspondiente al Estado de Sinaloa, tiene un alto

índice de siniestralidad, lo cual se ve reflejado en menor confianza y confort hacia los usuarios.

A continuación, se presentan noticias recabadas en distintas fechas, involucrando siniestros viales dentro del túnel “El Sinaloense” y algunos otros túneles de la Carretera cuota, demostrando, con información de primera mano y con imágenes, que son puntos de conflicto que se deben atender.

2.4.1. Siniestros viales en el túnel “El Sinaloense”



El 15 de octubre de 2023 acaeció un incendio de una camioneta tipo pick up dentro del túnel “El Sinaloense” sin víctimas mortales. El tránsito fue desviado a la Autopista libre mientras se realizaba el peritaje.



El 12 de septiembre del 2024 se registró un incendio de un tráiler dentro del túnel “El Sinaloense” por causas sin conocer. El siniestro ocasionó que la operadora cortara la circulación de la Autopista y cerrara dos casetas. No hubo víctimas.

2.4.2. Siniestros viales en otros túneles de la Carretera Durango-Mazatlán



El 14 de abril de 2023 en el túnel “Piedra Colorada” a 30 kilómetros del túnel “El Sinaloense” ocurrió el siniestro debido a la falta de una tapa de una alcantarilla. El vehículo implicado fue un automóvil que provocó un incendio y el cierre total de la vía. Falleció una vida.



El 14 de junio del 2024 ocurrió un incendio de un tráiler en el interior de un túnel menor a pocos kilómetros del túnel “El Sinaloense”; el incidente ocasionó el cierre de la Carretera y dejó saldo blanco.



El 26 de junio del 2023 un tráiler que transportaba cerveza volcó en el túnel “Baluarte”, ubicado en el kilómetro 156, a 13 kilómetros del túnel “El Sinaloense”; el chófer de la unidad quedó gravemente herido y fue llevado de emergencia a un hospital.



El 15 de diciembre del 2021 acaeció una volcadura de un tráiler en el túnel del kilómetro 165 dejando a dos personas sin vida.

3. Tercer capítulo: Análisis de Riesgos

3.1. Análisis de causas de los siniestros

Las causas de los siniestros viales en el tramo del túnel “El Sinaloense” son multifactoriales, incluyendo aspectos propios de los actores: conductor, vehículo, camino y agentes naturales; en el túnel “El Sinaloense” se identificaron los siguientes riesgos a la seguridad vial:

3.1.1. Exceso de velocidad

Los conductores a menudo no respetan los límites de velocidad establecidos por el señalamiento vertical colocado a un costado de la Carretera; de esta manera, en las condiciones especiales que son el transitar por un túnel, vuelve más peligrosa la situación y aumenta las probabilidades de un siniestro por exceso de velocidad al haber poco espacio para las maniobras.

3.1.2. Condiciones climáticas

En la Sierra Madre Occidental es común el frío y la neblina debido a la geografía en la región de Durango y Sinaloa. Cuando la lluvia es intensa y moja el pavimento, dentro del túnel las condiciones son mejores ya que son relativamente más tranquilas debido al espacio confinado; sin embargo, como se mencionó anteriormente, la neblina puede llegar a adentrarse en el túnel provocando un escenario de poca visibilidad que obliga a los usuarios a bajar su velocidad.

3.1.3. Cansancio y fatiga

De acuerdo con la NOM-87-SCT-2-2017, la cual regula los tiempos de conducción y pausa para conductores del Servicio de Autotransporte Federal y Transporte Privado, se establecieron determinados periodos de tiempo de conducción con el fin de reducir la incidencia de siniestrabilidad en transportes pesados; dentro de la norma, se menciona, que el tiempo máximo de conducción es de 14 horas diarias con periodos de descanso de 30 minutos. Cabe mencionar que debido al TDPA y al porcentaje de vehículos pesados de largo itinerario en la Carretera, es difícil conocer los tiempos de los transportes privados y el tiempo de descanso de los conductores; por otra parte, el tramo en cuestión no tiene puntos de parada en la cual los conductores puedan realizar su merecido descanso (el punto de parada más cercano se encuentra en el restaurante conocido como el 369, a más de 20 kilómetros del túnel); esta situación provoca fatiga y somnolencia en los conductores, los cuales deben recurrir a métodos poco saludables para aplazar el sueño y no perder concentración.

3.1.4. Infraestructura deficiente

Los siniestros viales pueden ser causados por una mala señalización dentro del túnel; la falta de mantenimiento de las señales (que no cumpla con la debida retrorreflexión), iluminación deficiente, o señalamiento horizontal sin mantenimiento adecuado, puede generar confusión a los usuarios. Si la señalización no es clara en una emergencia como un incendio o un bloqueo, los conductores no pueden reaccionar adecuadamente, lo que empeorará aún más la situación.

3.1.5. Inseguridad

Cuando se habla de inseguridad se refiere a la situación derivada de las acciones delictivas o de peligro que afectan la integridad de los usuarios de la vialidad. Los intentos de robo a unidades como tráileres y particulares ponen en riesgo la vida de las personas, ya que una acción que toman los asaltados es la huida precipitada del lugar de los hechos, con lo que se puede generar un siniestro vial; adicionalmente, el uso de armas de fuego por parte de los asaltantes vuelve más peligrosa una situación de robo.

3.1.6. Vandalismo

La ausencia de infraestructura vial puede deberse a los actos vandálicos que algunas personas cometen con el objetivo de obtener algún beneficio de la venta de equipo o material vial. Algunos equipos como los paneles solares, cámaras de videovigilancia y megafonía, así como material como cobre y cable es blanco de vándalos que lo revenden en centros de acopio. De acuerdo con medios locales en 2017, varios de los teléfonos en los postes SOS de la Carretera habían sido estropeados con tal de asaltar a los usuarios que hicieran uso de estos ya que es intrínseco que se encontraban en situación de emergencia o vulnerabilidad.

4. Cuarto capítulo: Implementación de los SIT

4.1. Sistemas adaptados al túnel "El Sinaloense"

La implementación de varios SIT tiene como objetivo mejorar la seguridad vial y prevenir siniestros de tránsito dentro y fuera del túnel "El Sinaloense", para ello, se consideraron variables como la ubicación geográfica, la demanda y la infraestructura ya existente; considerando los alcances de este documento y la mejora de los sistemas seguros, se describen los siguientes SIT del túnel:

- Sistema Inteligente de Ventilación (SIV).
- Sistema Inteligente de Gestión de Tráfico (SIGT).
- Sistema Inteligente de Comunicación con el Usuario (SICU).
- Sistema Inteligente de Extinción de Incendios (SIEI).

La combinación y el buen funcionamiento de los anteriores sistemas, enlazados al CDC que atiende la Carretera, lleva a una mejora sustancial en la calidad de servicio y en la satisfacción del usuario; y antes de pasar a los SIT del túnel, es provechoso mencionar el propósito y las cualidades del CDC en la gestión de los Sistemas Inteligentes.

4.1.1. Centro de Control (CDC)

El CDC tiene la capacidad de dar seguimiento a las incidencias y tener comunicación directa con los recursos de la operadora, CAPUFE, y otros organismos de atención de emergencias, tales como grúas, cuerpo de bomberos, ambulancias, o protección civil. Se cuenta con información en tiempo real de las condiciones que prevalecen en la vía mediante Estaciones Meteorológicas.



Imagen. Centro de Control Coscomate. Fuente: Google Maps.



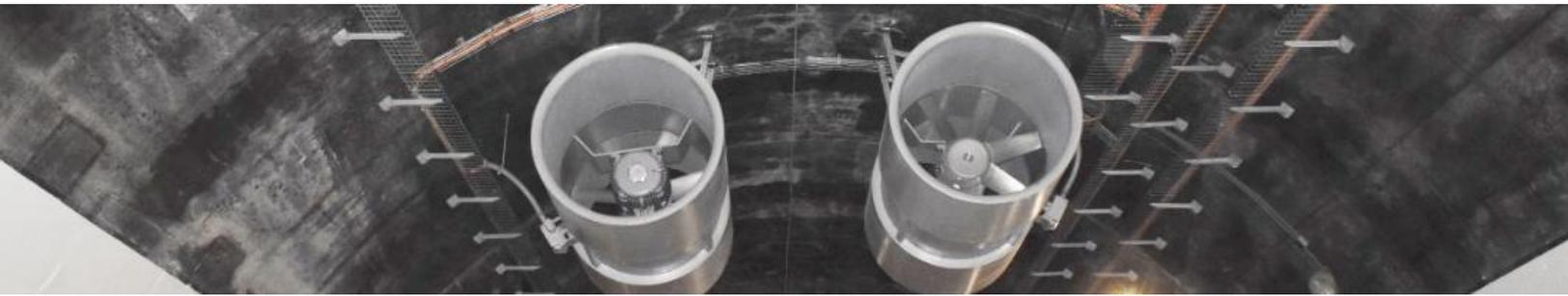
Imagen. Centro de Control Santa Lucía. Fuente: Google Maps.

La forma directa en que un usuario se ponga en contacto con el CDC es mediante los postes o los gabinetes SOS, los cuales tienen integrados teléfonos que contactan directamente a los operadores, y ellos manejan la situación que el usuario les plantea de acuerdo con sus procedimientos internos.



Imagen. Centro de Control de los túneles de la Carretera Durango-Mazatlán. Fuente: MDCTC.

En los últimos años, CAPUFE ha instalado distintos tipos de cámaras, como las domo, bala y panorámicas, en diversos tramos de la red vial; con la instalación de cámaras de alta potencia, el organismo puede obtener información sobre las condiciones de la Carretera en caso de que se produzca un siniestro o se reporte una emergencia. Actualmente las instalaciones del CDC las constituye un edificio ubicado cerca de la caseta Coscomate, Durango, la cual monitorea la actividad de los túneles, atiende llamadas de los usuarios y detecta incidencias en las distintas Autopistas.



4.2. Sistema Inteligente de Ventilación

El túnel “El Sinaloense” cuenta con poderosos “jet fans” o ventiladores para desalojar gases tóxicos. Durante la operación del túnel, los automóviles, tráileres y demás vehículos producen gases derivado del proceso de combustión interna, estos gases son monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de azufre (SO₂) y materiales particulados que si se respiran por un prolongado periodo de tiempo pueden llegar a causar mareos, malestar general e incluso desmayos; es por eso que la estructura posee instrumentos que detectan los niveles de gases nocivos y encienden los ventiladores instalados en la bóveda para dirigir el aire en un solo sentido y así renovar la atmósfera del túnel.

Por otro lado, en caso de un incendio dentro del túnel, los gases pueden incluso llegar a ser más nocivos debido a la quema de plásticos, metal, madera y otras sustancias que componen tanto a los automóviles como a la infraestructura vial; entre los productos se pueden encontrar acroleínas (C₃H₄O), cianuro de hidrógeno (HCN), ácidos de halógenos, entre otros, y la extracción de aire debe ser medida, ya que si el incendio no ha sido contenido las llamas pueden avivarse debido a la introducción de más oxígeno en la reacción.

En teoría, existen diferentes alternativas para la solución de la ventilación en túneles, entre ellas se considera la ventilación natural como la óptima porque es la que no requiere inversión de equipo ni de energía eléctrica.

4.2.1. Tipos de ventilación en túneles

Ventilación natural

La ventilación natural consiste en permitir circular aire por el túnel sin necesidad de equipos, la circulación de aire es posible debido a la diferencia de presión entre ambos portales ocasionada por un diferencial de temperaturas, de elevación y por la dirección del viento, evacuando así los gases tóxicos.

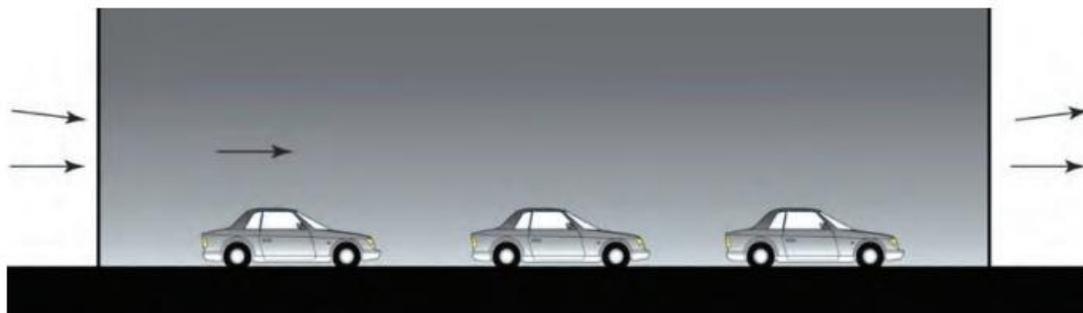


Figura. Ventilación natural. Fuente: MDCTC, Capítulo 16. Ventilación.

La situación climatológica es fundamental para la renovación del aire en túneles donde la ventilación es natural, y generalmente es suficiente para reemplazar el aire del túnel cuando éste es de una corta longitud o cuando el volumen de tráfico es bajo.

Considerando la situación de emergencia en un túnel con ventilación natural, en los momentos iniciales de un incendio y en ausencia de ventilación artificial, el humo tóxico se desplazará hacia la bóveda del túnel; cabe mencionar que el humo se mantendrá estratificado en la parte superior del túnel a lo largo de varios cientos de metros si no existe corriente de aire que lo desplace debido a la alta temperatura de éste.

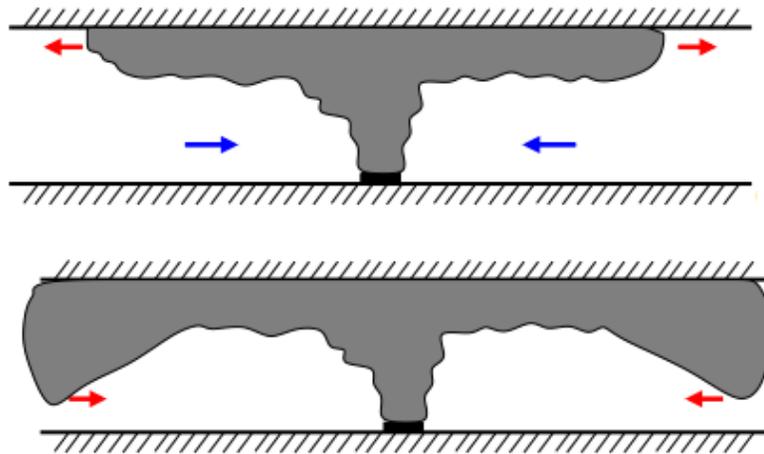


Figura. Movimientos del humo en caso de incendio en túnel sin ventilación. Fuente: Dossier pilotes des tunnels – 4.1. Ventilation (CETU).

El humo tóxico que expida el incendio se mantendrá caliente por un periodo de tiempo; mientras el humo continua su avance por la parte superior del túnel, los usuarios del túnel podrán evacuarlo por debajo de la capa densa arrastrándose mientras se colocan un pañuelo húmedo en las vías respiratorias para no inhalar toxinas ni humo caliente que pudiera dañar los pulmones. Por otra parte, si el humo no encuentra una salida hacia el exterior, eventualmente se enfriará y descenderá gradualmente por el túnel hasta llenarlo completamente, lo cual vuelve una situación crítica debido a que se reduce considerablemente la visibilidad, y la probabilidad de inhalar toxinas aumenta.

La principal ventaja de la proyección de túneles con ventilación natural es el nulo costo de inversión, mantenimiento y operación; en contraparte, la desventaja es la alta dependencia de las condiciones atmosféricas y el nulo control en caso de incendio dentro del túnel.

Ventilación longitudinal

El sistema longitudinal de ventilación es aquel que mueve el aire a través del túnel por medios mecánicos como ventiladores. Uno de los portales recibe aire fresco y el otro portal expulsa el aire contaminado. El sentido de desplazamiento del aire debería ser el mismo que el de los vehículos cuando el túnel es unidireccional, con el fin de beneficiarse del movimiento que estos generan y ahorrar energía eléctrica. El flujo de aire se consigue a través de ventiladores axiales, también conocidos como jet fans. Usualmente, los ventiladores se sitúan en la bóveda del túnel o en los costado de la vialidad cuando los gases son más pesadas que el aire.

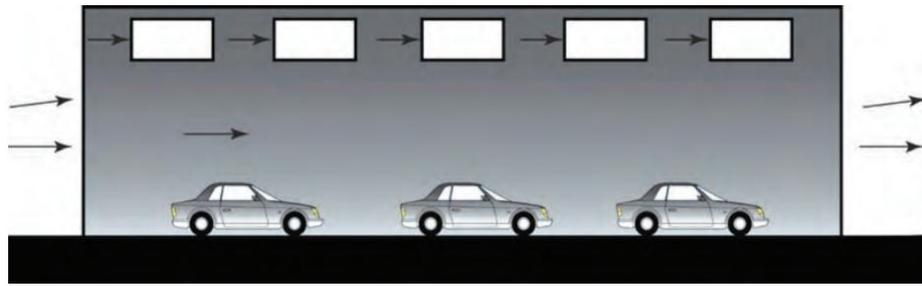


Figura. Ventilación longitudinal con ventiladores axiales. Fuente: MDCTC, Capítulo 16. Ventilación.

Los ventiladores normalmente son reversibles, especialmente en el caso de túneles de dos direcciones, para poder utilizar la ventilación natural en la dirección en que se produzca, con el fin de aplicar solo la potencia de ventilación que sea necesaria.

En túneles muy largos donde se busca evitar que el humo recorra una gran parte del túnel, a menudo se utilizan sistemas longitudinales pero complementados con pozos intermedios; este sistema implica costos de infraestructura considerablemente más altos que los de un sistema de ventilación longitudinal con ventiladores de chorro, ya que el pozo intermedio aumenta la inversión debido a la excavación, el soporte y el revestimiento del pozo vertical de varios metros de profundidad con un tamaño de diámetro suficiente para extraer el flujo generado por los ventiladores longitudinales. Además, es recomendable tener un ventilador axial en estos pozos para manejar los flujos de extracción, lo que encarece aún más el sistema de ventilación del túnel. Igualmente, se debe contar con el espacio adecuado en la superficie para colocar la rejilla de extracción de aire a nivel del suelo.

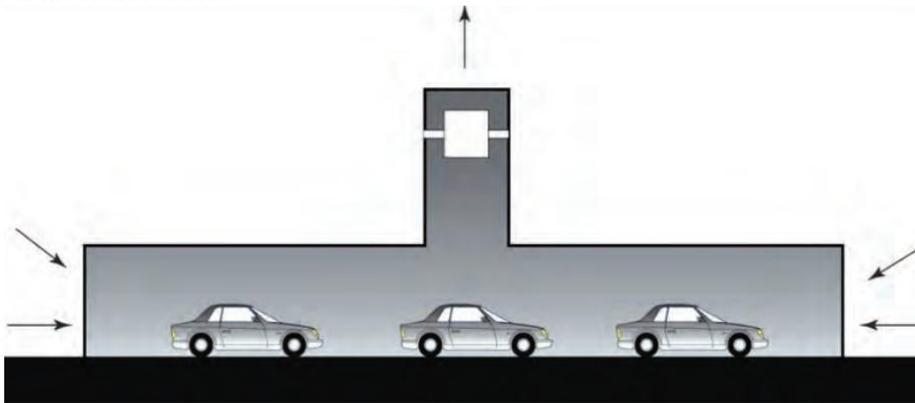


Figura. Ventilación longitudinal con pozos intermedios. Fuente: MDCTC, Capítulo 16. Ventilación.

Ventilación transversal

La ventilación transversal hace uso de conductos para suministrar aire fresco y expulsar el aire contaminado de manera uniforme, los cuales están unidos a estaciones de ventilación externas.

Tanto el aire fresco como el aire contaminado se mueven a lo largo del túnel a través de tubos que normalmente están en la parte alta del túnel, separados del área donde pasan los vehículos por un techo falso y con una pared divisoria entre ambos. De manera uniforme y a lo largo de todo el túnel, se introduce aire fresco desde la parte baja del túnel y se extrae el aire contaminado desde la parte alta.

En la ventilación transversal, el túnel se subdivide en secciones que se ventilan de forma independiente. En cada sección hay dos tubos, uno para llevar aire fresco y el otro para sacar el aire contaminado y el humo en caso de fuego, posicionado en la bóveda del túnel; de este modo, el cambio de aire no se realiza de

manera longitudinal, sino transversal al eje del túnel.

La desventaja de este sistema de ventilación es el constante consumo eléctrico de los ventiladores al no contar con el tráfico de los vehículos como medio adicional para mover las masas de aire.

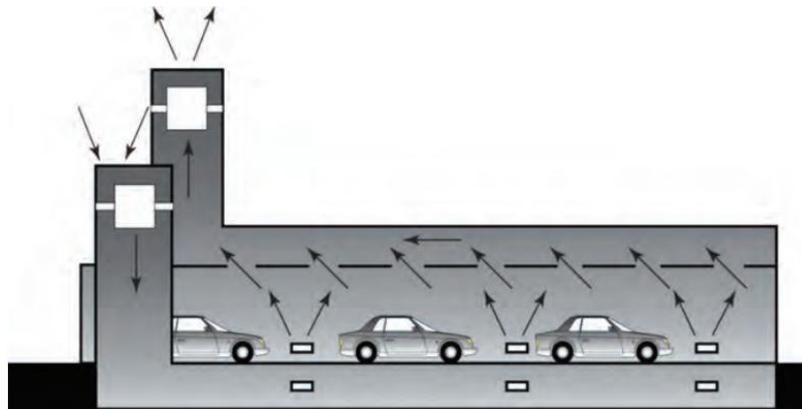


Figura. Ventilación transversal. Fuente: MDCTC, Capítulo 16. Ventilación.

4.2.2. Comportamiento de los humos

Durante un incendio que ocurra dentro de un túnel largo como “El Sinaloense” la forma de propagación de los gases, así como la variación de las temperaturas que se alcancen en la secciones más cercanas al foco, dependerá fundamentalmente de la velocidad del aire en el interior del túnel. Los humos que se generan en el incendio debido al material combustible, y a su alta temperatura de generación, alcanzan la bóveda del túnel en donde se estratifican, avanzando desde la bóveda del foco del incendio hacia cada lado a un velocidad de 2 [m/s]. Cuando el humo caliente se aleja del foco del incendio, éste comienza a enfriarse, y va ocupando toda la sección del túnel.

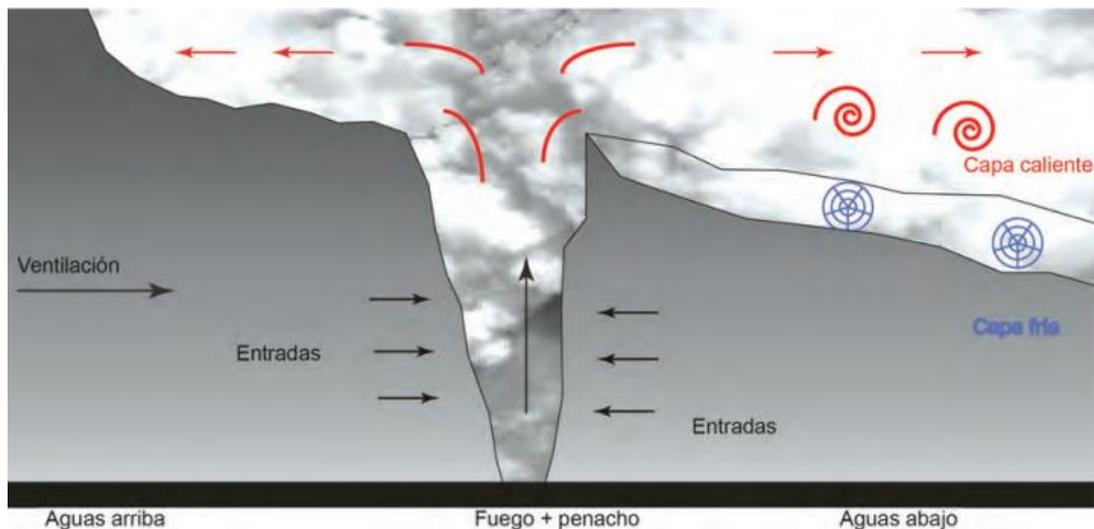


Imagen. Comportamiento del humo en un túnel. Fuente: MCDTC, Capítulo 16. Ventilación.

4.2.3. Comportamiento humano

El túnel es una estructura hostil para el ser humano por sí mismo: es un entorno cerrado, o semicerrado, que imposibilita la realización de maniobras, cambia la condición de luz del exterior, posee su propia atmósfera compuesta por aire del exterior y los gases producto de los vehículos. La propia psicología del individuo es

un factor que puede afectar considerablemente las acciones que se toman, pues la sensación de poco espacio puede generar claustrofobia y ansiedad.

En el caso de un incendio dentro de un túnel la situación se vuelve peligrosa para los usuarios debido a factores como el desconocimiento de la situación, el pánico, la oscuridad que provoca el humo negro, la toxicidad que aturde a las personas y la alta temperatura del foco que puede causar quemaduras en la piel

4.2.4. Objetivos

El Sistema Inteligente de Ventilación o SIV está diseñado para:

- Detectar la acumulación de gases nocivos dentro del túnel.
- Evacuar gases producidos por incendios dentro del túnel, manteniendo una calidad de aire adecuada para el tránsito de vehículos tripulados.
- Detectar la generación de un posible incendio y dar alerta al CDC.
- Acondicionar la atmósfera del túnel auxiliar en caso de emergencia.
- Garantizar al usuario una visibilidad adecuada para la conducción.
- Evitar el riesgo de explosiones en el interior del túnel principal, galeras y túnel auxiliar.
- Facilitar las labores de rescate y extinción manteniendo libre de humos los accesos.
- Limitar los daños a la estructura y los equipos del túnel.
- Maximizar la zona de aire fresco a los usuarios durante un incendio.

4.2.5. Equipos

Ventilador del túnel principal



Imagen. Ventiladores gemelos instalados en la bóveda del túnel. Fuente: Propia.



Imagen. Ventilador axial de chorro para alta temperatura. Fuente: fantr.com

Los ventiladores axiales tipo jet fan que se instalaron en el túnel “El Sinaloense” están certificados para funcionar a temperaturas de hasta 400°C durante un tiempo mínimo de dos horas. Los equipos cuentan con silenciador a la entrada y a la salida para minimizar el ruido y mantener el confort al usuario, además de contar con sondas para la medición de la temperatura. De acuerdo con el MCDTC, el gasto que se debe conseguir para la extracción de humos de los túneles es de 120 [m³/s], lo que es fácilmente conseguido con los 5 pares de ventiladores instalados en el túnel principal; ya que cada ventilador ofrece un gasto de 60 [m³/s], se obtiene un resultado de 600 [m³/s] si se combina el gasto de todos los equipos; sin embargo, se entiende que debido a las pérdidas por las singularidades del túnel y la eficiencia de los equipos, el gasto es menor, pero cumple con lo establecido por el Manual.

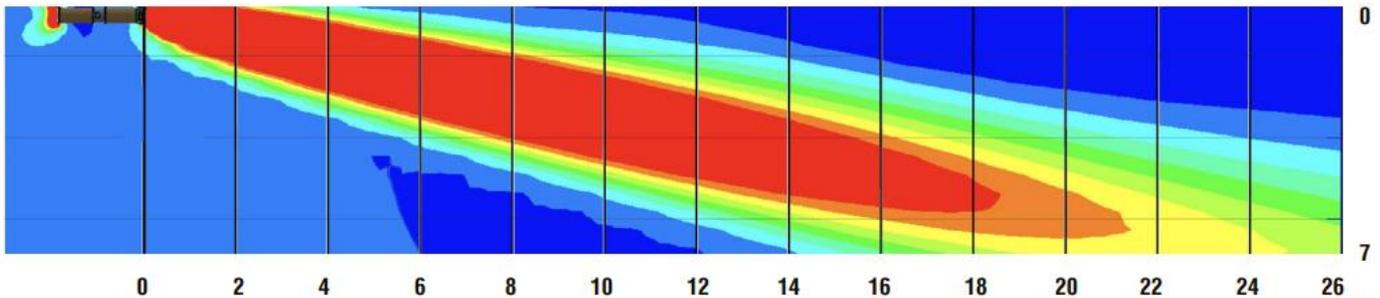


Imagen. Curva de proyección vertical del ventilador axial. Fuente: fantr.com

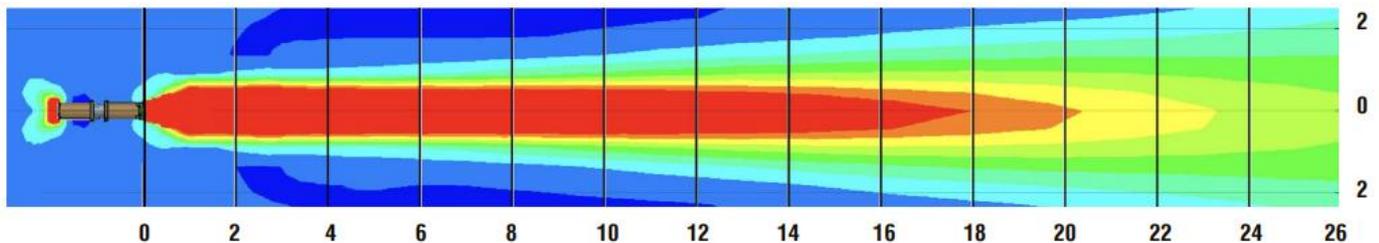


Imagen. Curva de proyección en planta del ventilador axial. Fuente: fantr.com

Resistencia a temperatura	400°C
Reversibilidad	Sí
Caudal mínimo	60 m ³ /s
Velocidad aire mínima	38 m/s
Diámetro	1400 mm

Potencia máxima	90 kW
Velocidad de giro	1800 rpm
Peso	1,500 kg

Tabla. Características técnicas. Elaboración propia.

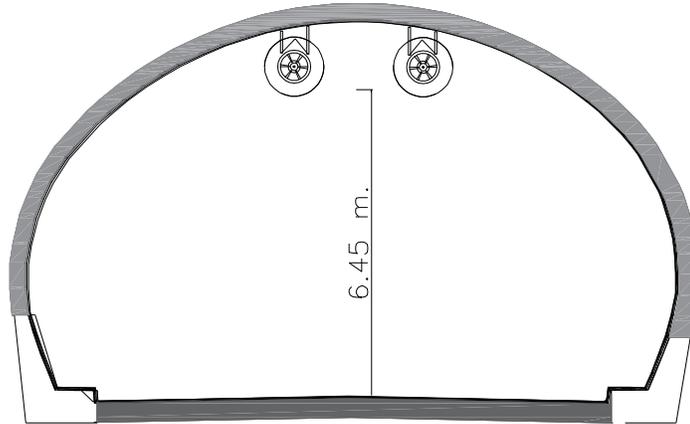


Imagen. Modelo del par de ventiladores del túnel principal. Elaboración propia.

Ventilador del túnel auxiliar



Imagen. Ventiladores del túnel auxiliar. Fuente: Javier Cabrera.



Imagen. Ventilador axial para túnel auxiliar. Fuente: fantr.com

El sistema de ventilación del túnel auxiliar se compone de equipos más pequeños que los del túnel principal; la instalación del ventilador auxiliar incluye un sistema de fijación a las bóvedas, así como un sistema de sustentación en caso de que el equipo, debido a las vibraciones u otros factores externos, se encuentre comprometido y pueda caer.

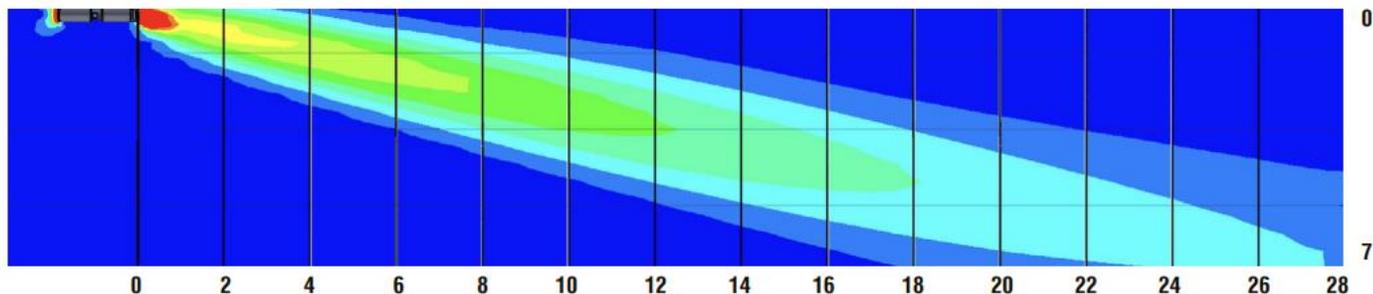


Imagen. Curva de proyección vertical del ventilador auxiliar. Fuente: fantr.com

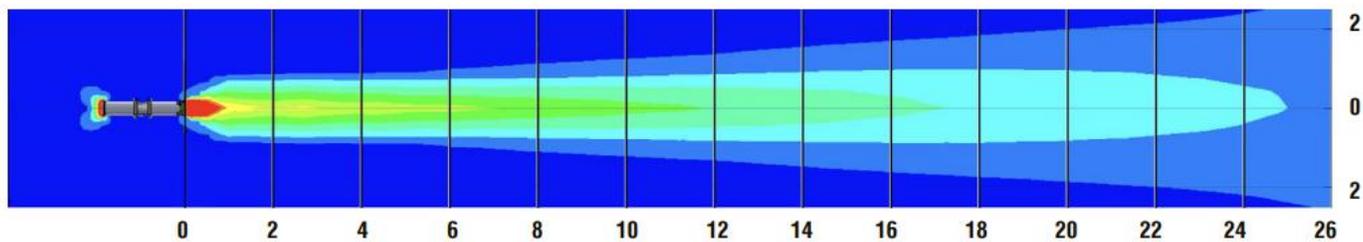


Imagen. Curva de proyección en planta del ventilador auxiliar. Fuente: fantr.com

Resistencia a temperatura	400°C
Reversibilidad	Sí
Caudal mínimo	5 m ³ /s
Velocidad aire mínima	25 m/s
Diámetro	600 mm
Potencia máxima	1.1 kW
Velocidad de giro	1400 rpm
Peso	68 kg

Tabla. Características técnicas. Elaboración propia.

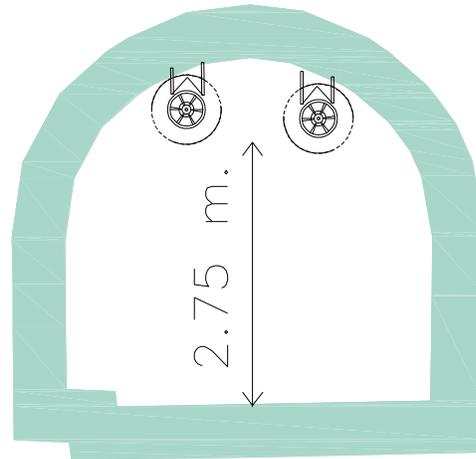


Imagen. Modelo del par de ventiladores en el túnel auxiliar. Elaboración propia.

Sistema de presurización del túnel auxiliar



Imagen. Ventilador del sistema de presurización. Fuente: propia.

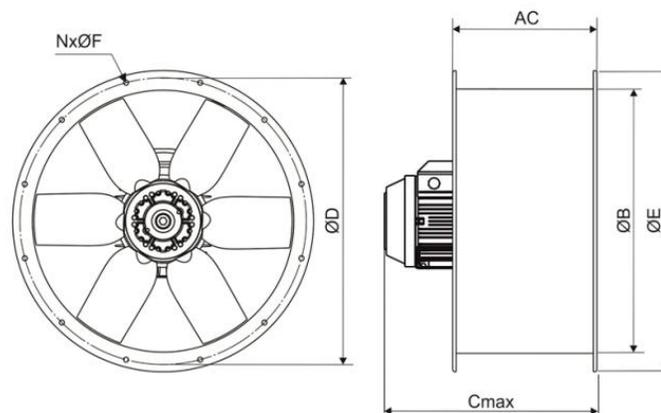


Imagen. Diagrama del ventilador instalado. Fuente: VIM experts.

El sistema de presurización está compuesto por un ventilador de presurización que funciona por medio de una señal de alarma del sistema de detección de incendios en túnel, regulando su punto de trabajo mediante el variador de frecuencia y en función de la sobrepresión medida en la galería por los sensores de presión

diferencial instalados en el mismo equipo para tal fin.

Resistencia a temperatura	400°C
Reversibilidad	No
Caudal mínimo	4.3 m ³ /s
Velocidad aire mínima	15 m/s
Diámetro	560 mm
Potencia máxima	0.95 kW
Velocidad de giro	1500 rpm
Peso	25 kg

Tabla. Características técnicas. Elaboración propia.

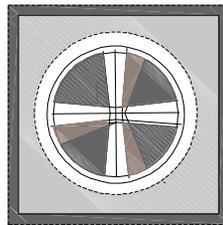


Imagen. Modelo de ventilador de sobrepresión. Elaboración propia.

Puerta cortafuegos



Imagen. Puerta cortafuegos de emergencia. Fuente: fortis.com

La puerta cortafuegos sirve para la protección del túnel auxiliar en caso de que exista un incendio o algún incidente similar que obligue a los usuarios a utilizar en la vía de evacuación. La puerta posee la capacidad de resistir el fuego por un tiempo de hasta 180 minutos o 3 horas de acuerdo con la norma estadounidense UL10B-UL10C. Con el fin de evitar el contacto del usuario con el acero, que puede encontrarse caliente debido al fuego, la puerta cuenta con una barra antipánico resistente a la corrosión y aislada del cuerpo por medio de una junta.

Tipo de equipo	Puerta
Vida útil	10 años
Material	Acero galvanizado
Resistencia	180 minutos
Peso	70 [kg]

Tabla. Características técnicas. Elaboración propia.

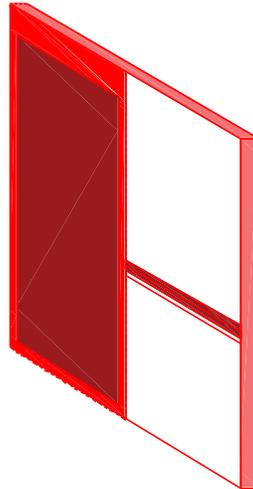


Imagen. Modelo de puerta cortafuegos. Elaboración propia.

Detector de monóxido de carbono



Imagen. Detector de CO. Fuente: P. Martorell.

El detector de monóxido de carbono es un equipo para la medición de la concentración, en partículas por millón, del aire del túnel. El equipo se ubica a cada 300 metros de distancia en el interior del túnel y tiene las siguientes características:

- Mínimo mantenimiento ya que no dispone de partes móviles.
- Sistema de autocontrol automático.
- Salida lineal independiente de la temperatura y de la humedad relativa.
- Rango de medida de 0 – 200 ppm.

Tipo de sensor	Electroquímico
Rango	0-200 ppm
Vida útil	3 años
Rango de presión atm	±10%
Rango temperatura	-20°C a 50°C
Grado de protección	IP65
Tiempo de respuesta	30 seg

Tabla. Características técnicas. Elaboración propia.

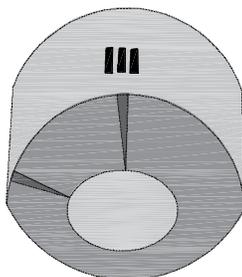


Imagen. Modelo de detector de CO. Elaboración propia.

Detector de NO2



Imagen. Detector de NO2. Fuente: Direct Industry.

El detector de dióxido de nitrógeno, gas producto de la combustión de hidrocarburos, es un equipo que se ubica a cada 300 metros en el interior del túnel, y que sirve para la medición de la concentración de NO₂; el equipo tiene las siguientes características:

- Requiere mínimo mantenimiento ya que no dispone de partes móviles.
- Sistema de autocontrol automático.
- Salida lineal independiente de la temperatura y de la humedad relativa.
- Rango de medida de 0 – 5 ppm.

Tipo de sensor	Electroquímico
Rango	0-5 ppm
Vida útil	3 años
Rango de presión atm	±10%
Rango temperatura	-20°C a 50°C

Grado de protección

IP65

Tabla. Características técnicas. Elaboración propia.

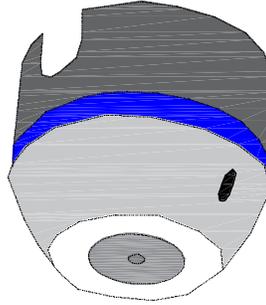


Imagen. Modelo de detector de NO2. Elaboración propia.

Opacímetro



Imagen. Opacímetro instalado en el túnel principal. Fuente: Héctor Muñoz.



Imagen. Opacímetro. Fuente: Durán Electrónica.

El opacímetro es un sensor electro-óptico para medir la opacidad en el aire a través de las partículas existentes (partículas en suspensión, emisiones de gases, etc.) utilizando el principio de dispersión frontal, captando una muestra de luz en un ángulo de 42° . El equipo se ubica a 500 metros de cada portal del túnel, y tiene las siguientes características:

- El diseño de la carcasa, integrado en una sola pieza, permite mantener todo el cableado interno, consiguiendo una protección total contra elementos externos.
- La carcasa del sensor está hecha de aluminio anodizado y las cajas de inemperie son de fibra de

vidrio resistente a los rayos ultravioletas.

- Utiliza una geometría de “visión hacia abajo” para reducir la contaminación visual.

Tipo de sensor	Opacidad
Ángulo de ataque	42°
Vida útil	5 años
Rango de presión atm	±10%
Rango temperatura	-40°C a 60°C
Grado de protección	IP66

Tabla. Características técnicas. Elaboración propia.

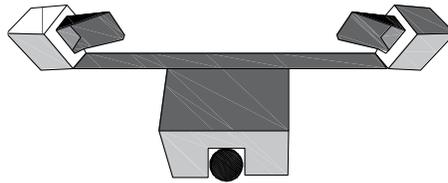


Imagen. Modelo de opacímetro. Elaboración propia.

4.2.6. Funcionamiento del sistema

Los ventiladores del túnel “El Sinaloense” son capaces de proporcionar el caudal de aire requerido venciendo la resistencia del propio túnel y de los obstáculos en él situados (señalamiento, ampliaciones de carril, instalaciones, etc.) cuando es necesario renovar la atmósfera del sitio. De acuerdo con las condiciones ambientales y geométricas de la Autopista y del túnel “El Sinaloense”, se instaló un sistema de ventilación longitudinal con 5 pares de ventiladores axiales.

La ubicación de los ventiladores dentro del túnel “El Sinaloense” obedece a la geometría del trazo vertical en forma de V invertida y con una longitud de pendiente mucho menor del Lado Mazatlán que del Lado Durango, la instalación de los pares de ventiladores se llevó en los siguientes cadenamientos:

- 171+130
- 171+030
- 168+770
- 168+645
- 168+525

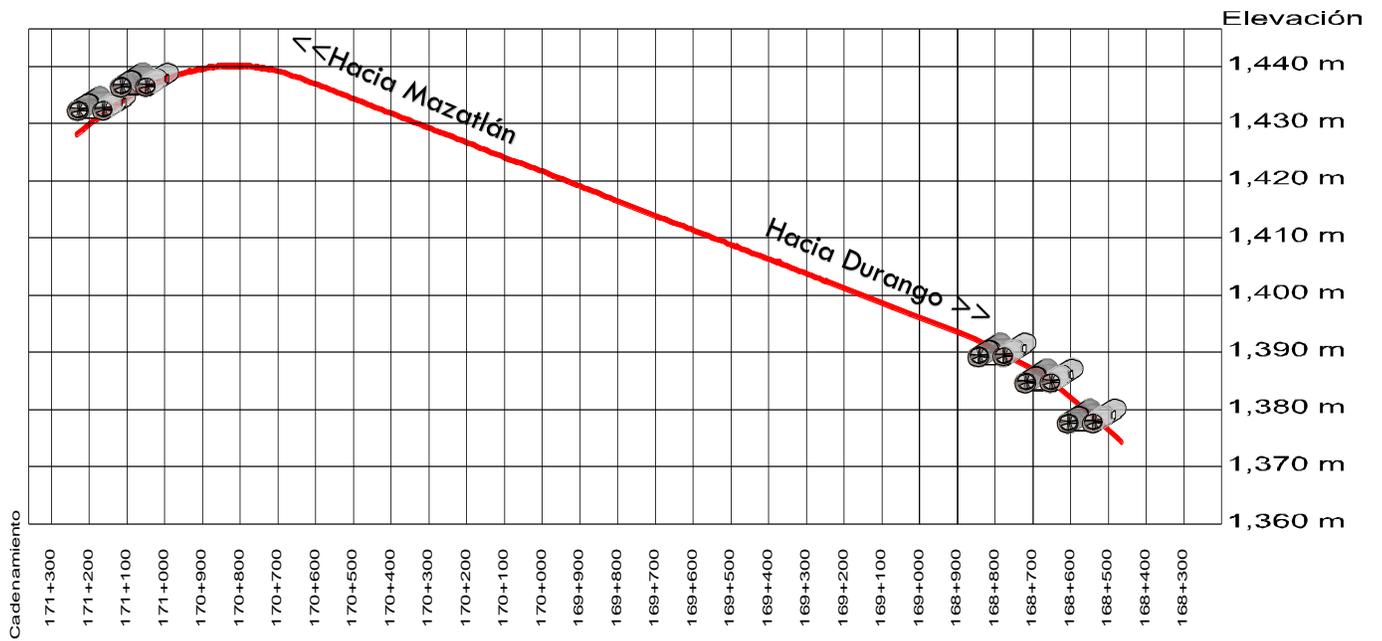


Imagen. Ubicación de los ventiladores en el perfil vertical del túnel principal. Elaboración propia.

Debido a la geometría del túnel auxiliar y su único funcionamiento en casos de emergencia, se instalaron dos equipos a pocos metros de los portales de entrada.

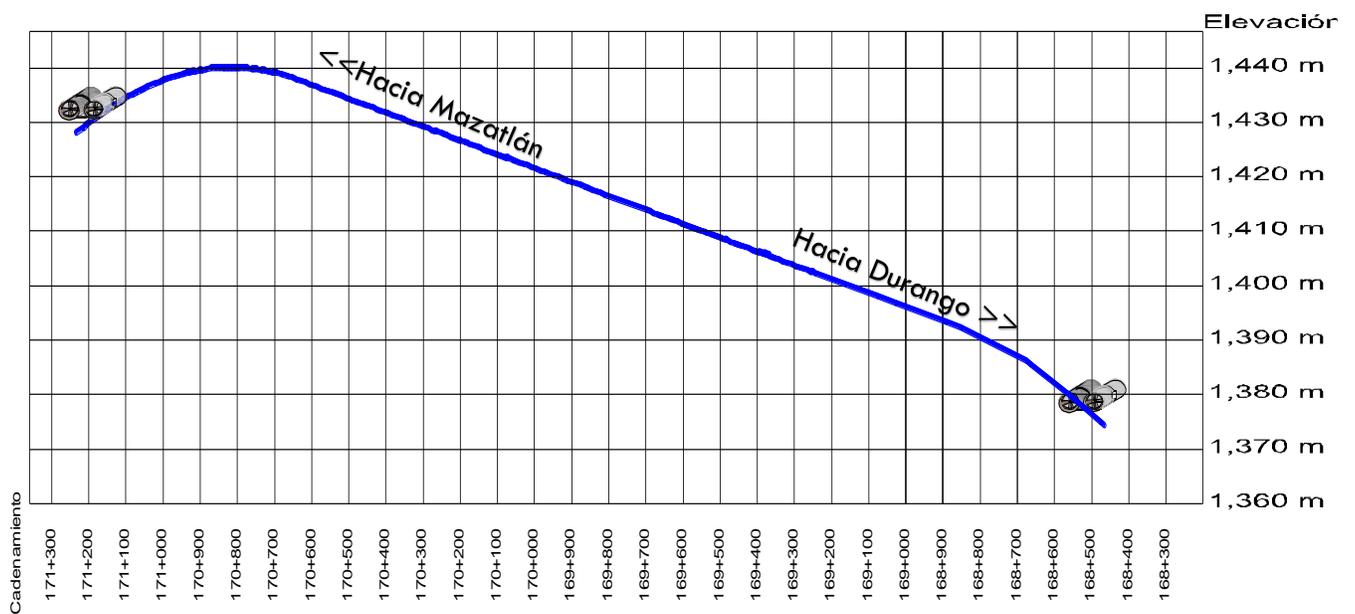


Imagen. Ubicación de los ventiladores en el perfil vertical del túnel auxiliar. Elaboración propia.

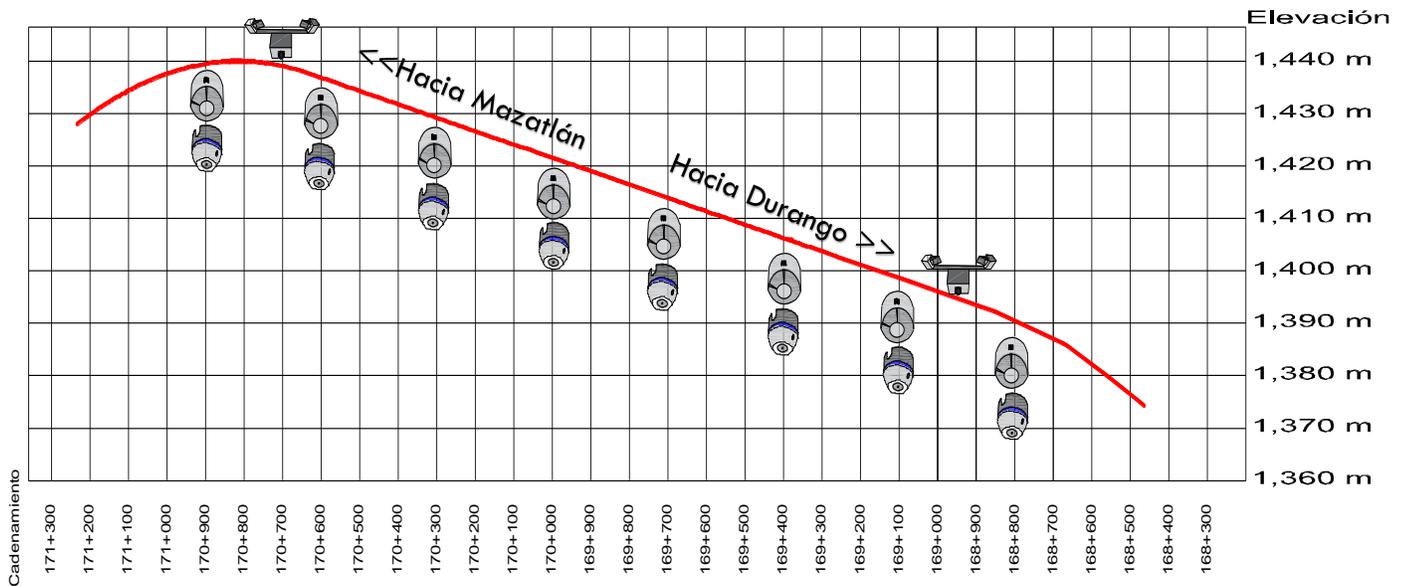


Imagen. Ubicación de equipos menores (detectores y opacímetros) en el túnel principal. Elaboración propia.

La evolución de un incendio es muy rápida, lo cual puede traer consecuencias graves si no se actúa de forma inmediata a la identificación de uno en el interior del túnel. En el caso de que ocurra un incendio dentro del túnel “El Sinaloense” es probable que puedan quedar vehículos detenidos a ambos lados del foco del incendio, por lo que los usuarios primero evacuarán en varias direcciones hacia las bocas del túnel.

Durante la fase de evacuación, la estrategia de ventilación es mantener la estratificación de los humos el mayor tiempo posible, para permitir la evacuación de los usuarios por debajo de la capa de humos. Una vez finalizada la evacuación de los usuarios por parte de la autoridad competente es cuando el sistema de ventilación debe facilitar la labor de extinción de los servicios de emergencia, expulsando el humo por una de las bocas y dejando completamente libre de humos una ruta de acceso desde la otra boca. El sistema de ventilación del túnel “El Sinaloense” cuenta con ventiladores 100% reversibles para que el arrastre de los humos podrá ordenarse hacia cualquiera de las bocas.

Para la determinación del sentido de expulsión del aire, primero se identifica la ubicación del incendio, posterior a esto se encienden los ventiladores expulsando los gases por la entrada que se encuentre más cerca el incendio, dejando así un tramo más largo de túnel limpio. Si el incendio se ubica cerca del Lado Mazatlán, los ventiladores expulsarán los gases a través de este portal, aplicando lo mismo si el incendio ocurre cerca del Lado Durango. Como consecuencia del encendido de emergencia de los ventiladores por incendio, el sistema también activará los ventiladores de presurización y expulsión de gases del túnel auxiliar en el sentido en el que se activen los del túnel principal.



4.3. Sistema Inteligente de Gestión de Tráfico

Este sistema tiene como propósito principal mejorar la seguridad vial del túnel “El Sinaloense” y la eficiencia operativa del tráfico vehicular para mitigar siniestros viales. La implementación de este sistema permite controlar los dispositivos desde el CDC, y por medio de señales se envían actualizaciones de estados en tiempo real para mantener informados a los usuarios sobre las condiciones operativas de la vía y el túnel en cuestión. El sistema facilita a los operadores del CDC la obtención de información de condiciones meteorológicas y la velocidad de conducción de los usuarios en tiempo real, en casos necesarios, se publican mensajes visuales por medio de los semáforos, control de límite de velocidad y señales aspa flechas en atención de incidencias y trabajos de mantenimiento.

El SIGT del túnel cuenta con las siguientes funcionalidades:

- Gestión del tráfico, permitiendo a los operadores verificar el estado actual de la circulación ya sea mediante observación directa o como medio de confirmación de información proveniente de otros sistemas.
- Supervisión de las condiciones meteorológicas a través de la visualización de las entradas al túnel, apoyando a los operadores en la verificación de las condiciones climáticas y su posible impacto en la seguridad de los conductores y el estado de la vía.
- Apoyo a los operadores en tareas de supervisión.
- Asistencia en la gestión de incidentes, siendo un componente clave en distintas fases de dicho proceso:
- Detección: Identificación instantánea del incidente para minimizar el tiempo de respuesta y el impacto en los usuarios de la vía.
- Verificación: Confirmación visual del incidente para evaluar su alcance y situación.
- Información: Difusión de la notificación del incidente a otros conductores mediante paneles de mensaje variable, radio, megafonía, semáforos, etc.
- Respuesta: Coordinación y movilización de personal, equipos y recursos apropiados una vez confirmado el incidente.

Trabajos en campo: Acciones para resolver el incidente de manera eficiente, incluyendo la restauración de las condiciones de la zona afectada.

4.3.1. Objetivos

- Activar los protocolos para atención de emergencia en caso de cualquier incidencia.
- En caso de una emergencia, se debe cerrar el túnel para evitar la entrada de más vehículos con la operación semáforos equipados en la entrada del túnel y facilitar las tareas de los servicios de emergencia.
- Se usan paneles de información para alertar a los usuarios sobre la situación y darles instrucciones sobre qué hacer.

- En caso de emergencia que impida el tráfico normal, se establecen rutas alternativas para desviar el tráfico.
- Detectar situaciones no relacionadas con el tráfico, como presencia de peatones, objetos caídos en la vialidad y condiciones meteorológicas que afecten el desempeño del tráfico.
- Establecer un sistema de comunicación efectivo para la transmisión instantánea de mensajes y alertas desde el CDC al usuario.

4.3.2. Equipos

El Sistema Inteligente de Gestión de Tráfico del túnel “El Sinaloense” abarca una variedad de equipos cuyo objetivo es informar adecuadamente a los usuarios y garantizar el acceso a los mismos con la máxima seguridad en la circulación. El SIGT del túnel tiene los siguientes componentes:

- Señales aspa-flecha.
- Semáforos rojo-ámbar-verde (RAV), ámbar-ámbar (AA).
- Señales de límite de velocidad.
- Estación Meteorológica.

El SIGT dispone de las siguientes funcionalidades:

- Activar remotamente los dispositivos físicos de entradas.
- Activar los estados de los semáforos.
- Mostrar en las PMV las razones del cierre del túnel y el tiempo aproximado de espera.
- Brindar información actualizada a los usuarios.

Señal aspa flecha



Imagen. Señales aspa-flecha colocadas en la bóveda del túnel. Fuente: Edgar Guevara.

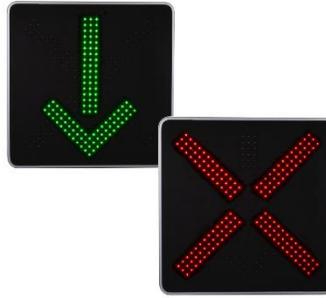


Imagen. Señal aspa-flecha. Fuente: uhrsenalizacion.com

Las señales aspa-flecha son señalamiento vertical inteligente, desarrollado con tecnología LED, el cual ofrece a los operadores beneficios respecto a la gestión del tráfico en tiempo real y a la seguridad vial en los tramos donde son implementados. Estos dispositivos son instalados en carriles vehiculares multifuncionales, indicando con formas y colores sencillos de identificar, cuáles son los carriles habilitados para transitar y cuáles no admiten circulación en un momento determinado. Las formas que estas señales pueden mostrar son variadas; sin embargo, es posible proyectas otro tipo de figuras.

Dispositivo	Señal aspa-flecha
Color de flecha	Verde de acuerdo con EN12966
Color de aspa	Rojo de acuerdo con EN12966
Tecnología de luz	LED
Material	Aluminio
Peso	22 kilogramos
Dimensiones	1x1x0.9 [m]
Protección	IP66
Vida útil	100 mil horas

Tabla. Características técnicas. Elaboración propia.



Imagen. Señal de flecha. Elaboración propia.

Señal de límite de velocidad variable



Imagen. Señal de límite de velocidad variable. Fuente: ArchiExpo.

Las señales de límite de velocidad variable son dispositivos verticales que facilitan el ajuste en tiempo real de los límites de velocidad de la Carretera en función de las condiciones climatológicas, en caso de existir algún incidente o cuando se realicen trabajos de mantenimiento y conservación.

Dispositivo	Señal de límite de velocidad variable
Color	Rojo-Ámbar de acuerdo con EN1 2966
Tecnología de luz	LED
Material	Aluminio
Peso	22 kilogramos
Dimensiones	1x1x0.9 [m]
Protección	IP66
Vida útil	100 mil horas

Tabla. Características técnicas. Elaboración propia.

Las señales aspa-flecha y las señales de límite de velocidad variable se ubican principalmente en los accesos al túnel así como en algunos lugares del interior del túnel. Los dispositivos dinámicos son para informar a los usuarios de las condiciones operativas de los carriles, y están ubicados en las zonas donde se permita su visualización previa y la lectura con suficiente antelación.

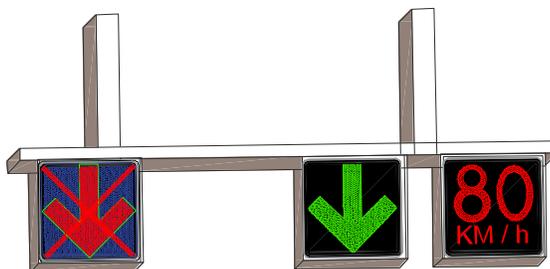


Imagen. Señal aspa-flecha con una señal de límite de velocidad variable. Elaboración propia.

Las señales de límite de velocidad variable del túnel tienen tecnología LED que permite la visualización de 2 dígitos, mostrando así la velocidad de operación de la Carretera, 80 [km/h]. Los equipos para exterior se encuentran ubicados sobre estructuras y soportes para fijación en los laterales de la Carretera.

Semáforo RAV



Imagen. Semáforo RAV en el lado Mazatlán. Fuente: Google.



Imagen. Semáforo RAV. Fuente: trafictec.

La función de los semáforos es indicativa y visual, esto quiere decir que se encuentran instalados para el envío de mensajes directos por medio del código de color de las luces hacia los usuarios, y éstas se encargan de indicar el estado actual del ingreso hacia el túnel o delimitar el paso, la detención o la disminución de velocidad que deben considerar los usuarios para mitigar y evitar siniestros dentro del túnel. La asociación de los usuarios con los semáforos es más común que con el resto de las señales de Carretera, y el significado de los colores es ampliamente conocido entre los conductores.

Uno de los equipos que componen el SIGT son los semáforos RAV: Rojo-Ámbar-Verde (Alto, Prevención, Pase), instalados en secciones con anterioridad a cada boca del túnel a una distancia de cien metros de las entradas de acuerdo con la normativa N-PRY-CAR-13-01-004-21, además los equipos cuentan con focos de 300mm con sus respectivas viseras para mejorar el contraste de la visualización.

Dispositivo	Semáforo RAV
Color	Rojo-Ámbar-Verde
Tecnología de luz	LED
Material	Polycarbonato estabilizado
Peso	12 kilogramos
Diámetro	300 mm
Resistencia	IP55 de EN60598-1

Vida útil	150 mil horas
------------------	---------------

Tabla. Características técnicas. Elaboración propia.

Semáforo AA

Semáforos de LED con 2 ópticas de color ámbar y 300 mm de diámetro. Están ubicados previo a las bahías de emergencia advirtiendo que el lugar está ocupado.



Imagen. Semáforo AA.

Dispositivo	Semáforo AA
Color	Ámbar-Ámbar
Tecnología de luz	LED
Material	Policarbonato estabilizado
Peso	8 kilogramos
Diámetro	300 mm
Resistencia	IP55 de EN60598-1
Vida útil	150 mil horas

Tabla. Características técnicas. Elaboración propia.

Los semáforos AA están instalados en las zonas que presenten mayor riesgo para los usuarios que transiten por y hacia el túnel; es decir, antes de las ampliaciones interiores y de los portales de entrada; por ello, los semáforos AA se encuentran a 30 metros antes de cada bahía de emergencia del túnel, complementando al señalamiento vertical, con el fin de indicar a los usuarios la proximidad de dicha ampliación, así como complemento de las barreras vehiculares en las entradas del túnel, para indicar la acción de la misma barrera.

Estaciones meteorológicas



Imagen. Estación Meteorológica. Fuente: Darrera.

La Estación Meteorológica para túneles proporciona información importante acerca de las condiciones climatológicas actuales, necesaria para la operación y mantenimiento de la Autopista. La recopilación de los datos meteorológicos se realiza desde el CDC de manera automática, de tal manera que el estado climatológico sea difundido a los usuarios, mediante los diferentes sistemas informativos. El túnel “El Sinaloense” cuenta con una estación meteorológica cerca del Lado Mazatlán, cerca de la casa de bombas. Los dispositivos con los que está equipada la Estación Meteorológica son:

- Pluviómetro.
- Termómetro.
- Anemómetro.

Las estaciones meteorológicas proporcionan la información siguiente:

- Temperatura.
- Velocidad del viento.
- Dirección del viento.
- Precipitación.

Dispositivo	Pluviómetro
Área de recolección	200-400 [cm ²]
Material	Aluminio
Peso	5 kilogramos
Temperatura de operación	-30°C a 60°C
Resistencia	IP66 de EN60598-1
Vida útil	8 años

Tabla. Características técnicas. Elaboración propia.

Dispositivo	Anemómetro
Velocidad	0.5 [m/s]
Material	Aluminio

Peso	6 kilogramos
Dimensiones	0.32x0.28x0.22 metros
Resistencia	IP68 de EN60598-1
Vida útil	10 años

Tabla. Características técnicas. Elaboración propia.

Sistema de barreras vehiculares



Imagen. Barrera vehicular alzada (posición pasiva). Fuente: Google Maps.

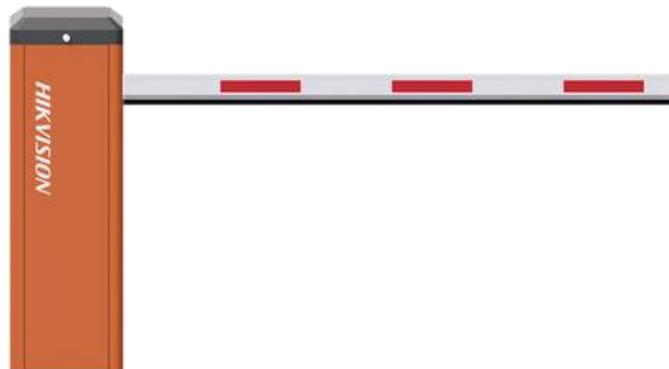


Imagen. Barrera vehicular con reflejante rojo. Fuente: turnstilesupplier.

La función de las barreras vehiculares es detener el ingreso de los usuarios al túnel en caso de que éste presente algún incidente bajando la pluma del equipo (posición activa); en caso de que exista alguna situación que pueda poner en riesgo la seguridad e integridad de los usuarios al acceder al túnel la barrera baja impidiendo eficazmente el acceso, esto puede ser fundamental para proteger la seguridad de los usuarios que se encuentran en el exterior y evitar situaciones peligrosas.

Las barreras vehiculares están colocadas de tal manera que se restrinja el acceso total o parcial en todo momento por las condiciones operativas que comprometan la seguridad de los usuarios en el interior y exterior del túnel. La posición natural o pasiva de la barrera será vertical; si se encuentra arriba permite el paso de los vehículos y si se encuentra abajo o en posición activa prohíbe la entrada al túnel. Las barreras se gestionan

desde el CDC. El principal beneficio de la implementación de las barreras vehiculares es el rápido tiempo de activación; adicionalmente, la barrera va acompañada de un semáforo AA para reforzar la instrucción visual.

Dispositivo	Barrera vehicular
Material	Gabinete de acero galvanizado
Peso	90 kilogramos
Medidas	0.25x0.48x1.22 metros
Resistencia	IP65 de EN60598-1
Vida útil	10 años

Tabla. Características técnicas. Elaboración propia.

4.3.3. Funcionamiento del sistema

El Sistema Inteligente de Gestión de Tráfico se controla desde el CDC de CAPUFE, este Centro recibe toda la información generada de los dispositivos instalados en la Carretera; posterior a su recabación y análisis se identifican incidencias, principalmente en el cambio en el clima, así pues si las condiciones de visibilidad o de la superficie de la Carretera cambian, el CDC mandará señales hacia el SIT del túnel, y modificará los valores de los equipos instalados. Las señales aspa-flecha, límite de velocidad variable y semáforos se activarán de acuerdo con la programación de la computadora, indicando los nuevos valores o nueva señal que se debe emitir.



Imagen. Señal de límite de velocidad variable establecida en 80 [km/h]. Fuente: César Jim.



Imagen. Señal de límite de velocidad variable establecida en 60 [km/h]. Fuente: Eleazar Canche.

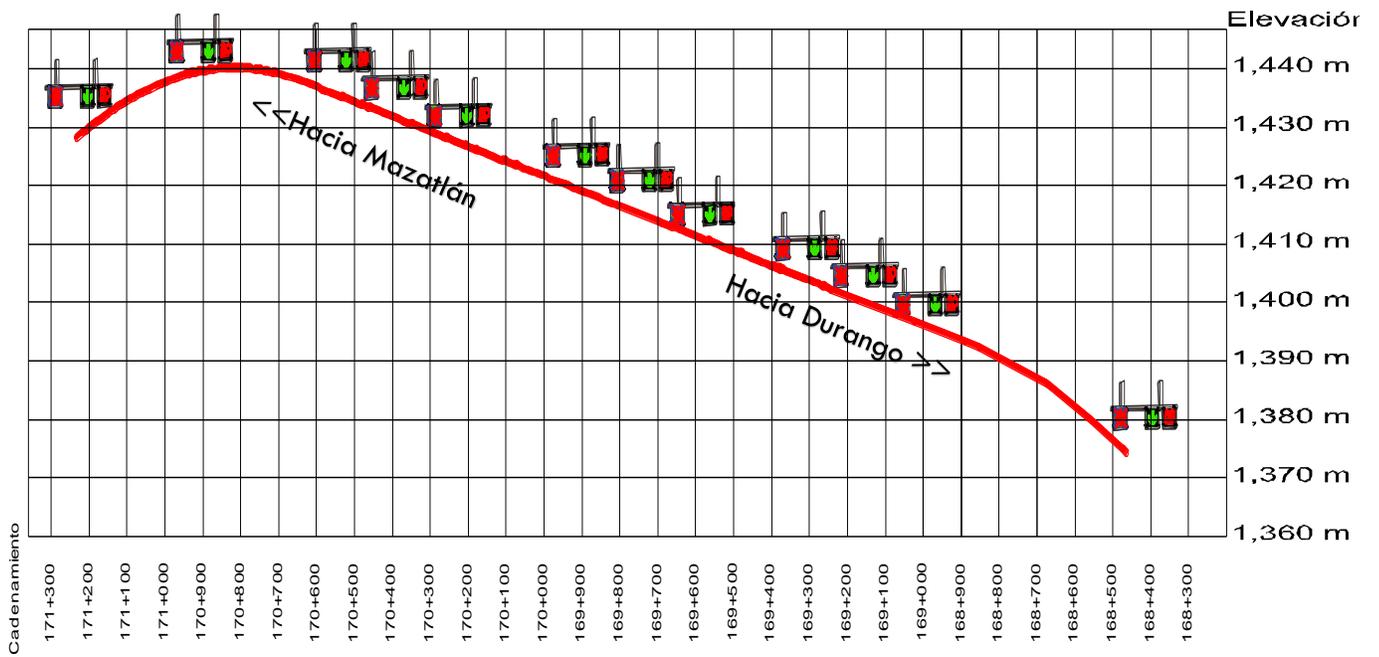


Imagen. Ubicación de las señales aspa-flecha con señal de límite de velocidad variable en el túnel principal. Elaboración propia.

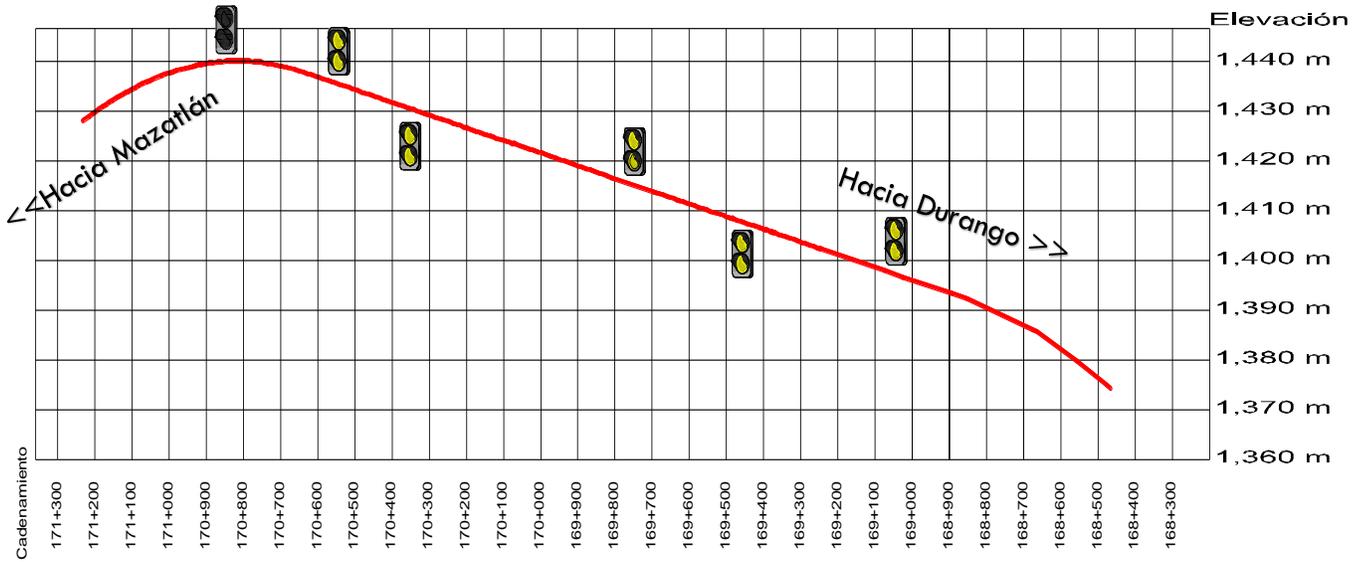


Imagen. Ubicación de los semáforos AA en el interior del túnel. Elaboración propia.

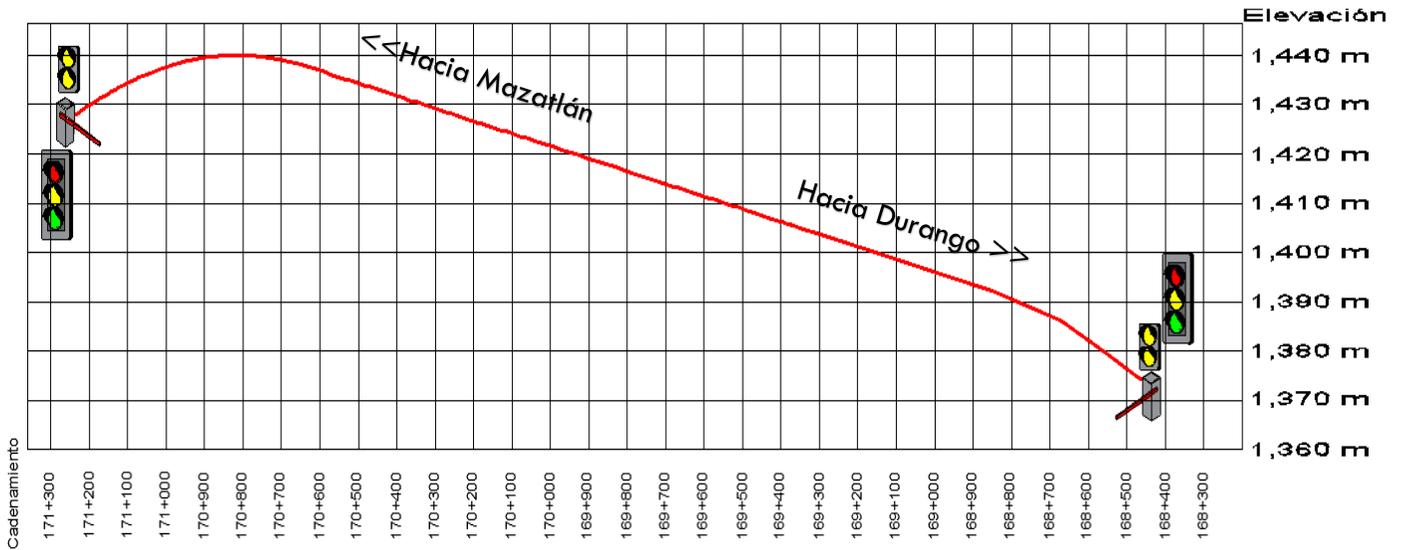


Imagen. Ubicación de los semáforos RAV y AA en el exterior del túnel, así como las barreras vehiculares. Elaboración propia.



4.4. Sistema Inteligente de Comunicación con el Usuario

El Sistema Inteligente de Comunicación con el Usuario o SICU tiene la función de permitir la interacción entre los usuarios que circulan en la vía y el CDC, con el fin de brindar soporte ante posibles incidentes. Esta comunicación se establece mediante equipos instalados en los acotamientos o en las paredes del túnel.

4.4.1. Objetivos

El objetivo del SICU es proporcionar un medio de comunicación directa entre los usuarios de la vía y el CDC, con el fin de poder hacer uso de los servicios de atención (mecánica, emergencias, información, entre otros). Los postes o cabinas SOS permiten establecer contacto directo entre el usuario y el CDC, desde donde se les proporciona ayuda en caso de necesidad o bien dar curso a la información facilitada por los usuarios, actuando del modo más conveniente en función de la necesidad presentada. Los objetivos del sistema son:

- Permitir la comunicación entre los usuarios y CDC por medio de estaciones distribuidas a lo largo del túnel.
- Permitir atención de varias solicitudes a la vez para su atención inmediata y simultánea.
- Gestionar los avisos y llamadas emitidas desde los postes SOS en el CDC.
- Emitir anuncios a través de los equipos de megafonía instalados en el túnel.

Con el fin de permitir una operación abierta, la comunicación entre el operador y los postes SOS es gestionada bajo demanda del Poste, es decir, desde el momento en que el usuario pulsa el botón de llamada de auxilio situado en el poste, o bien por el operador desde el CDC hacia el poste SOS.

4.4.2. Equipos del sistema

Poste SOS



Imagen. Poste SOS. Fuente: Propia.

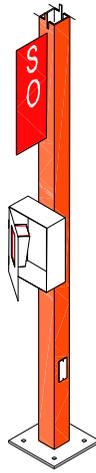


Imagen. Modelo de poste SOS. Elaboración propia.

Los postes SOS son equipos del SICU que los usuarios pueden utilizar en cualquier momento; el poste SOS enlaza a los usuarios vía telefónica con el Centro de Control (CDC), con el fin de brindar un servicio o auxilio vial. Los postes SOS se encuentran en ambas entradas del túnel “El Sinaloense”, claramente identificables con el color rojo y por el símbolo de “SOS”.

El poste SOS cumple con las especificaciones técnicas de la Norma EN 135701 “Equipamiento para Señalización Vial. Sistemas de ayuda y transmisión de datos mediante postes SOS”. Además, el poste SOS cuenta con las siguientes características:

- Carcasa de lámina en acero inoxidable.
- Grado de protección IP65.
- Instrucciones de funcionamiento.
- Altavoz y micrófono.
- Pulsador.
- Teléfonos de emergencia.
- Identificación retrorreflectiva.

Gabinete SOS

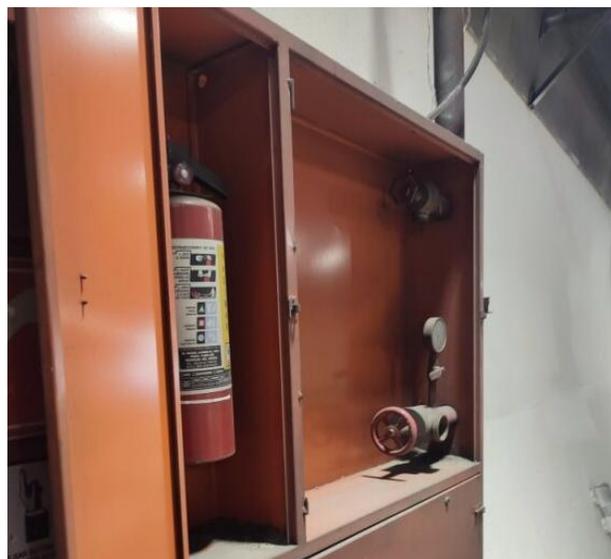


Imagen. Gabinete SOS del túnel “El Sinaloense”. Fuente: Edgar Guevara.

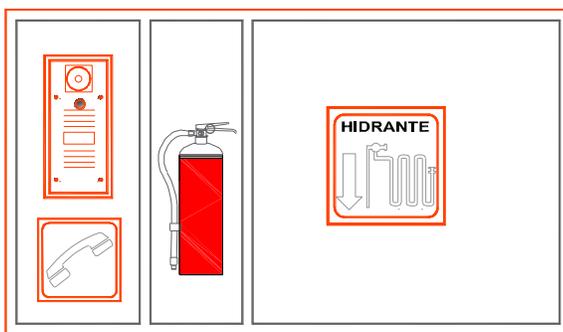


Imagen. Modelo del gabinete SOS. Elaboración propia.

El gabinete SOS es la versión mejorada del poste SOS, encontrándose en el interior del túnel; el gabinete SOS sirve como medio de comunicación entre el usuario y el CDC para la atención de emergencias e incidencias en el camino. Asimismo, el gabinete cuenta con otros aditamentos como un extintor PQS, y un hidrante para la extinción de incendios.

El gabinete SOS tiene las siguientes características:

- Armario de lámina de acero.
- Grado de protección IP65
- Panel frontal de poste de auxilio.
- Señalización retrorreflejante de presencia SOS.
- Hidrante.
- Extintor PQS.
- Teléfonos de emergencia.
- Instrucciones de uso.

Megafonía del túnel principal



Imagen. Altavoz en la entrada del túnel principal. Fuente: Edgar Guevara.



Imagen. Altavoz para sistema de megafonía. Fuente: TECHNO Seguro.

Los sistemas de megafonía permiten a los operadores del CDC informar a los usuarios del túnel sobre un incidente que requiere evacuación. Es importante la equidistancia entre los equipos de altavoces a lo largo del túnel para proporcionar a los usuarios información o pedirles que se comporten de una determinada manera con el fin de evitar incidencias.

El túnel “El Sinaloense” cuenta con altavoces ubicados en ambos extremos de la bóveda a una altura de 4.70 metros, inclinados entre 0° y 20° con respecto a la vertical con el fin de evitar la dispersión del sonido y permitir claridad en las instrucciones. Es posible que se den situaciones como la presencia de vehículos pesados que generan altos niveles de ruido, los cuales dificultan temporalmente la sonorización. Ya que el sistema de altavoces está diseñado para proporcionar asistencia y orientación en situaciones de emergencia, se espera que los conductores de los vehículos, tanto los ligeros como los pesados, respondan adecuadamente reduciendo el ruido generado por sus vehículos, apagando sus sistemas de audio y bajando las ventanillas.

Especificaciones técnicas.

Dispositivo	Altavoz
Color	Crema
Material	ABS y polipropileno
Peso	1.9 kilogramos
Diámetro de salida	350 mm
Resistencia	IP65 de EN54-24
Vida útil	10 años
Potencia	114 DBA a 1 metro

Tabla. Características técnicas. Elaboración propia.

Megafonía del túnel auxiliar



Imagen. Altavoz en el túnel auxiliar. Fuente: Javier Cabrera.

Los altavoces en túnel de emergencia son instalados para informar indicaciones e instrucciones a los usuarios que utilicen esta salida de emergencia. La distancia entre los altavoces es equidistante con el fin de mantener la inteligibilidad del habla. Debido a la menor dimensión del túnel, los altavoces se ubicaron en un solo extremo, en vez de dos como en el túnel principal. Los altavoces son capaces de reproducir la palabra de manera efectiva, tener alta eficiencia y sensibilidad, resistir condiciones ambientales adversas y cumplir con ciertas dimensiones específicas.

Especificaciones técnicas.

Dispositivo	Altavoz
Color	Crema
Material	ABS y polipropileno
Peso	1.9 kilogramos
Diámetro de salida	350 mm
Resistencia	IP65 de EN54-24
Vida útil	10 años
Potencia	114 DBA a 1 metro

Tabla. Características técnicas. Elaboración propia.



Imagen. Altavoz en la bóveda del túnel auxiliar. Fuente: Javier Cabrera.

CCTV



Imagen. Cámaras PTZ y bala. Fuente: Google Maps.



Imagen. Cámara bala en la boca del túnel. Fuente: Edgar Guevara.

Este Sistema de CCTV, conformado por las cámaras dispersas en el exterior e interior de los túneles mejora la seguridad y la eficiencia operativa del tráfico vehicular ya que permite la monitorización y visualización de la infraestructura por parte del CDC. El sistema facilita a los operadores del CDC la obtención de información de video en tiempo real mediante la inspección visual, mejorando así la supervisión y acción ante algún incidente de los túneles.

Dispositivo	Cámara bala
Color	Gris
Material	Carcasa de aluminio
Peso	3.2 kilogramos
Memoria interna	512 MB
Resistencia	IP66-IP67 según EN61000
Vida útil	60,000 horas

Tabla. Características técnicas. Elaboración propia.

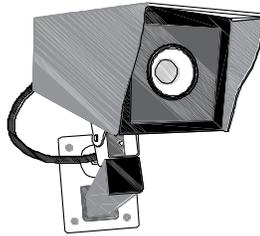


Imagen. Cámara bala. Elaboración propia.

Dispositivo	Cámara PTZ
Color	Blanco
Material	Carcasa de aluminio
Peso	4.5 kilogramos
Memoria interna	256 MB
Resistencia	IP65 de EN61000
Vida útil	30,000 horas

Tabla. Características técnicas. Elaboración propia.

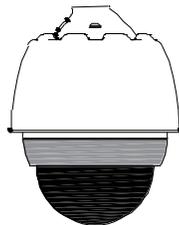


Imagen. Cámara PTZ. Elaboración propia.

4.4.3. Funcionamiento del sistema

El Sistema Inteligente de Comunicación con el Usuario opera a partir de las requisiciones de apoyo por parte del usuario que usa la infraestructura, y del monitoreo constante por parte del CDC. En primera instancia el usuario acudirá a un poste SOS, a las afueras del túnel, o un gabinete SOS, en el interior del túnel, y esperará la respuesta del CDC. El Centro de CAPUFE recibirá la requisición de apoyo y actuará correspondientemente.

En caso de que exista alguna situación extraordinaria que necesite la intervención del Centro en la infraestructura como el accionar del Sistema de Gestión de Tránsito, se realizará un comunicado a través de los megáfonos ubicados en la bóveda de los túneles. El CDC monitoreará y dará seguimiento a sus intervenciones mediante el sistema CCTV de los túneles y alrededores para conocer las condiciones en que se está atendiendo la incidencia. En caso de ser necesario, se informará a las autoridades correspondientes para solicitar su presencia en el lugar del incidente. El CDC tiene la capacidad de atender emergencias mediante el apoyo de unidades como ambulancias, grúas, patrullas de la Guardia Nacional y vehículos de asistencia vial menor (pasar corriente, inflar neumático, llevar agua para radiador, etc.).

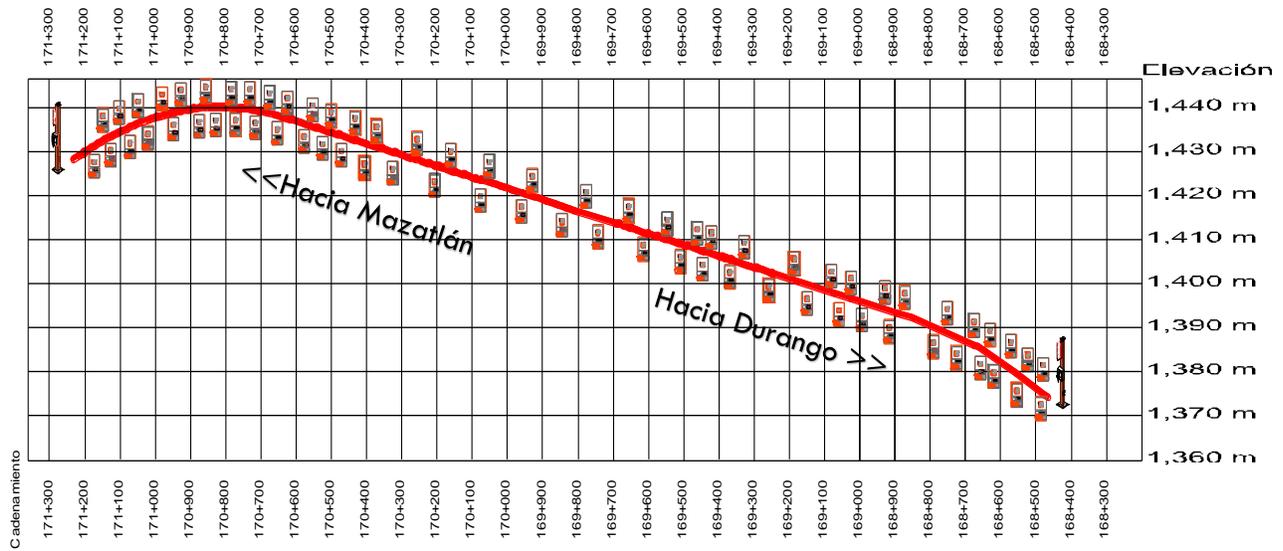


Imagen. Ubicación de los postes SOS y los gabinetes SOS en el túnel principal. Elaboración propia.

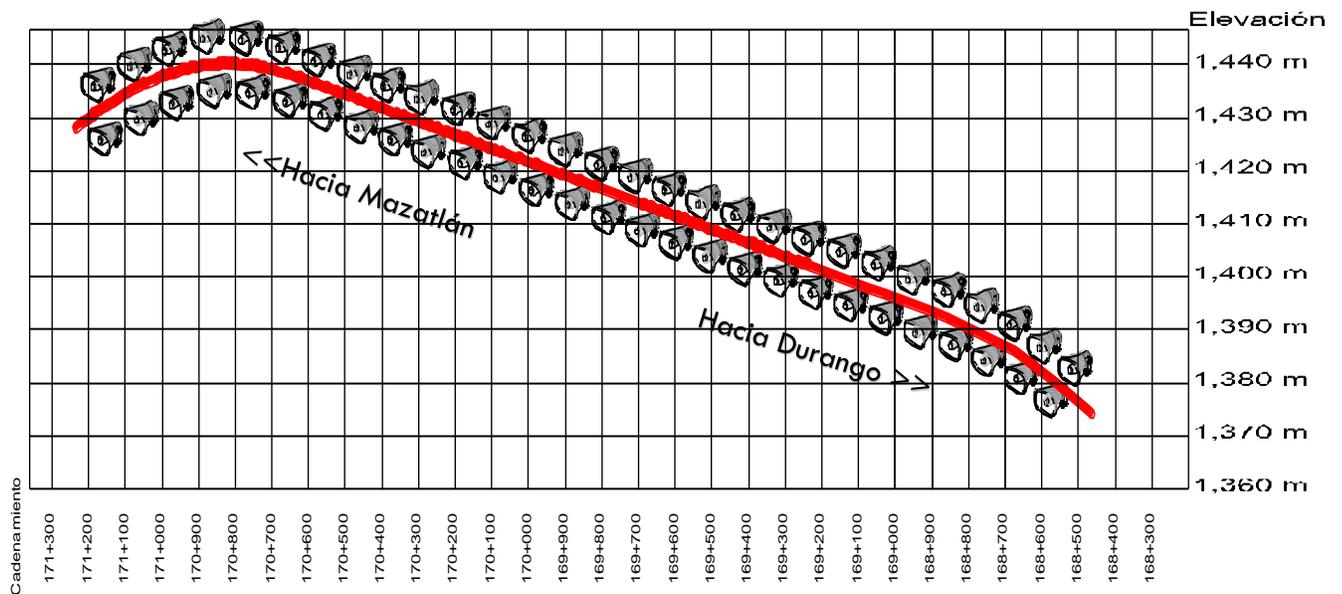


Imagen. Ubicación de los megáfonos del túnel principal. Elaboración propia.

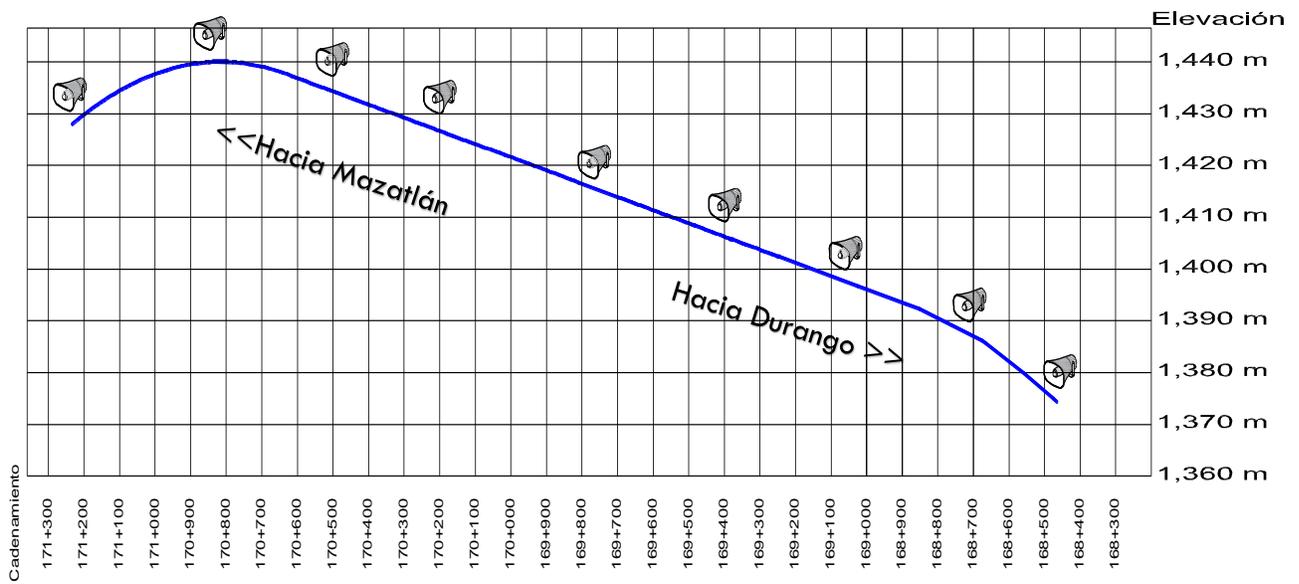


Imagen. Ubicación de los megáfonos del túnel auxiliar. Elaboración propia.

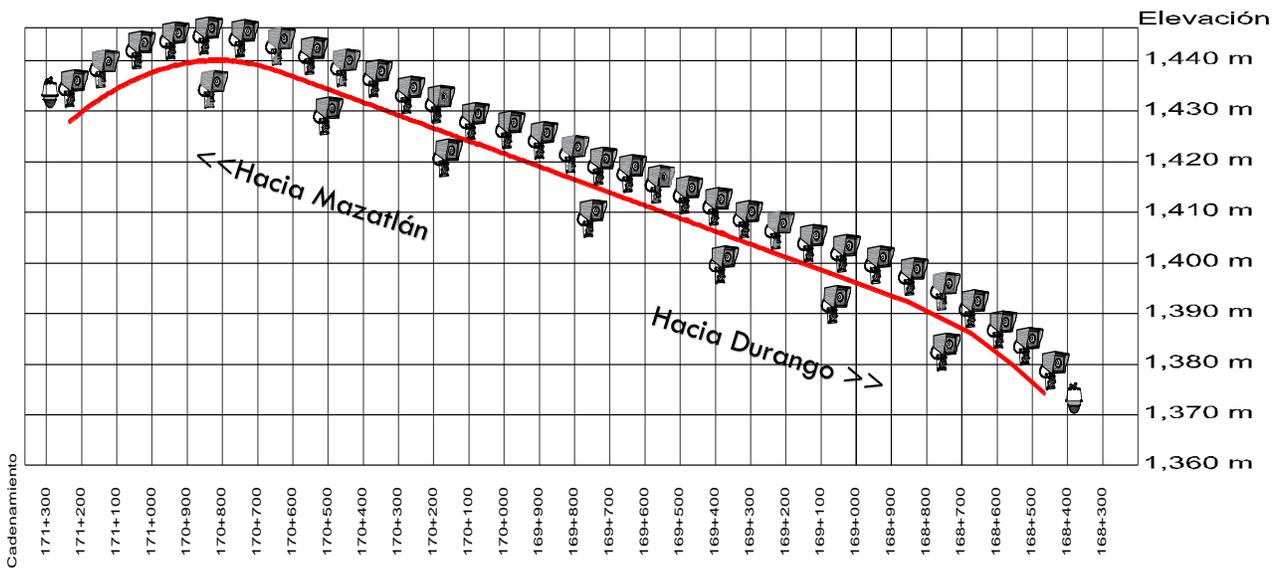


Imagen. Ubicación de las cámaras en el túnel principal. Elaboración propia.

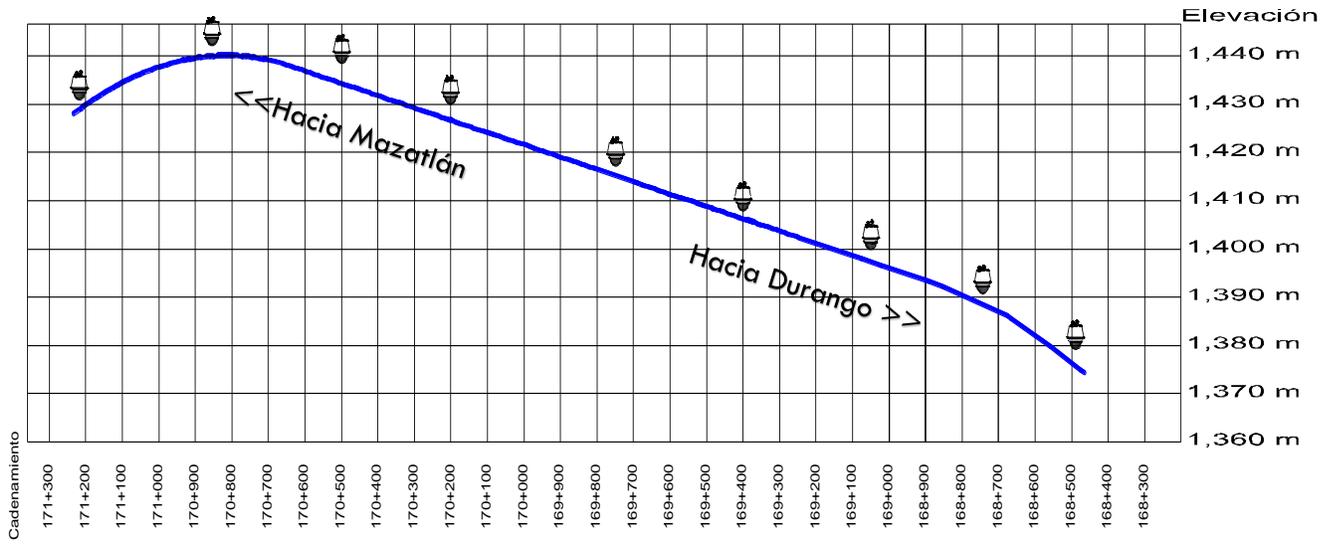


Imagen. Ubicación de las cámaras en el túnel auxiliar. Elaboración propia.



4.5. Sistema Inteligente de Extinción de Incendios

El Sistema Inteligente de Extinción de Incendios o SIEI consiste en la implementación de tomas siamesas y gabinetes SOS con extintor PQS e hidrante con mangueras ubicados varios puntos del interior del túnel. Para llevar el agua a presión a todos los puntos de la red, el sistema cuenta con un cuarto de bombas, una red de distribución y un tanque de almacenamiento.

El sistema del túnel “El Sinaloense” brinda protección en puntos estratégicos de la infraestructura vial. El suministro rápido de agua en caso de incendio es imprescindible para el rápido actuar de los equipos de emergencia; esto incluye la instalación de los hidrantes de fácil acceso en los gabinetes SOS.

4.5.1. Objetivos

- Extinguir los incendios mediante equipo instalado en el derecho de vía de la Carretera.
- Garantizar la seguridad integral de los usuarios y la infraestructura del túnel mediante la implementación de un sistema eficiente.
- Minimizar los riesgos de propagación de incendios.
- Permitir un acceso rápido a los equipos de emergencias para la extinción de incendios.

4.5.2. Cuarto de bombas

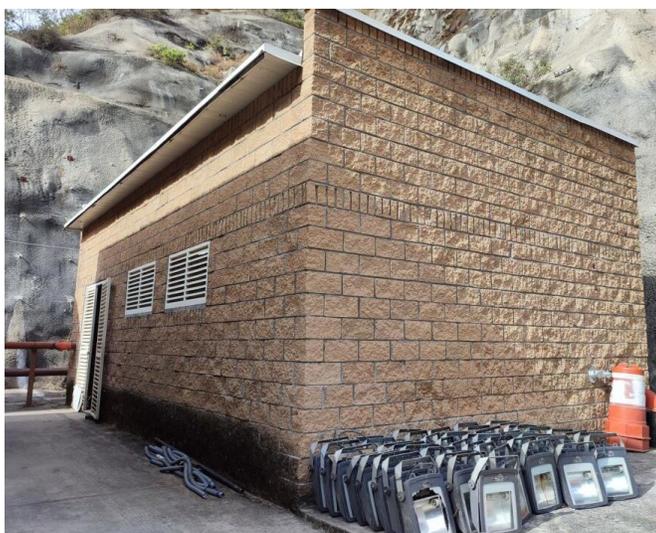


Imagen. Cuarto de bombas del túnel. Fuente: Propia.

El corazón del Sistema de Extinción de Incendios es el cuarto de bombas, espacio vital destinado a alojar los

equipos necesarios para garantizar un suministro confiable de agua en caso de una emergencia, dichos equipos trabajan en conjunto para mantener la presión y el flujo adecuados de agua en toda la red de distribución. En el cuarto de bombas, se encuentran instaladas las bombas principales que se encargan de tomar el agua de los almacenamientos y presurizarla para que fluya a través de las tuberías hacia los hidrantes, tomas, rociadores u otros dispositivos de extinción de incendios. El sistema consta de un equipo eléctrico como principal, un equipo diésel de respaldo y una bomba jockey para mantener la presión de la red.

Bomba eléctrica

El equipo que suministra la presión de agua al sistema de extinción de incendios es una bomba centrífuga horizontal acoplada a un motor eléctrico.



Imagen. Bomba eléctrica del cuarto de máquinas. Fuente: Miguel Echevarría.

Fuente de energía	Eléctrica
Tipo de bomba	Centrífuga
Gasto	500 [gpm]
Presión de operación	140 [psi]

Tabla. Características técnicas. Elaboración propia.

Bomba diésel

El equipo diésel de respaldo es una bomba centrífuga horizontal para servicio contra incendio con un motor de combustión interna a diésel.



Imagen. Bomba diésel de respaldo. Fuente: Propia.

Fuente de energía	Diésel
Tipo de bomba	Centrífuga
Gasto	500 [gpm]
Presión de operación	140 [psi]
Capacidad tanque	140 [gal]

Tabla. Características técnicas. Elaboración propia.



Imagen. Tanque de almacenamiento del diésel. Fuente: Héctor Muñoz.

Bomba Jockey

El equipo que absorbe los picos de caída de presión es una bomba jockey eléctrica de tipo multipaso.

Fuente de energía	Eléctrica
Tipo de bomba	Jockey
Gasto	5 [gpm]
Presión de operación	155 [psi]

Tabla. Características técnicas. Elaboración propia.

Otras partes del cuarto de bombeo.

- Cono de inspección.
- Válvula de alivio principal.
- Medidor de flujo.
- Tanque de almacenamiento de agua.
- Detector de humo.
- Rociadores de agua.

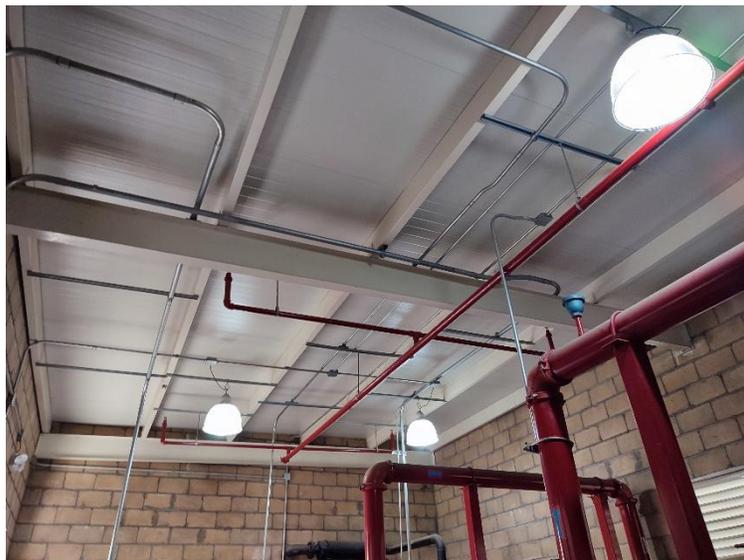


Imagen. Rociadores del cuarto de bombas. Fuente: Miguel Echevarría.

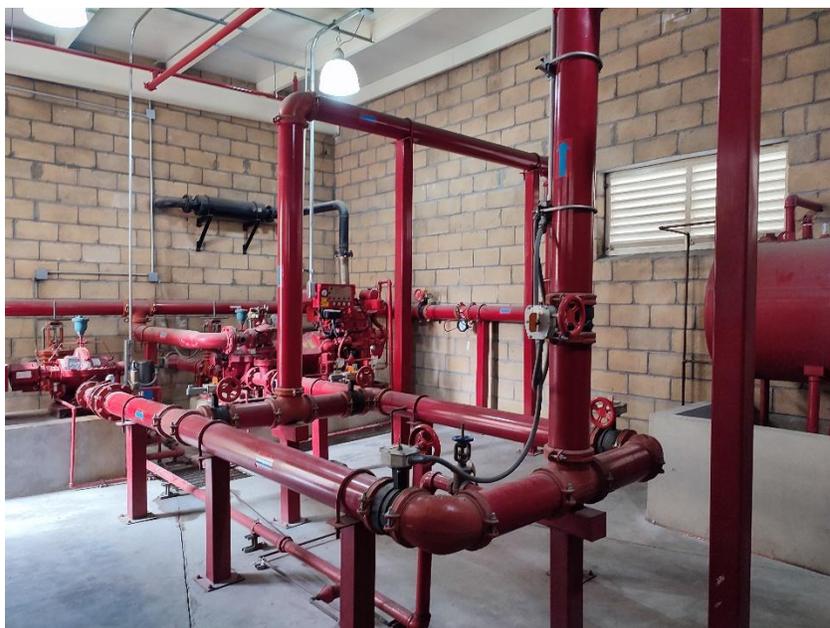


Imagen. Red hidráulica de la casa de bombas. Fuente: Miguel Echevarría.

4.5.3. Puntos de toma

La red principal hidráulica tiene como función distribuir el agua a través del túnel y sus accesos; esta red proporciona la infraestructura básica para el suministro de agua en caso de incendio. Instalada en tubería de

acero de diámetro de 6 pulgadas, la red consta de secciones subterráneas y aéreas; la tubería área cuenta con aislamiento térmico para resistir los cambios de temperatura y el fuego en caso de incendio.

Hidrantes de Manguera

Los hidrantes están instalados en los gabinetes SOS dentro del túnel para proporcionar puntos de acceso rápido al suministro de agua en caso de incendio.



Imagen. Hidrante dentro de un gabinete SOS. Fuente: Héctor Muñoz.

Toma Siamesa



Imagen. Toma siamesa en el exterior del túnel. Fuente: Propia.

El sistema tiene instaladas dos tomas siamesas en el exterior del túnel para el departamento de bomberos, que consiste en una conexión especializada que permite conectar las mangueras directamente al sistema contra incendios para una respuesta rápida y eficaz en caso de incendio.

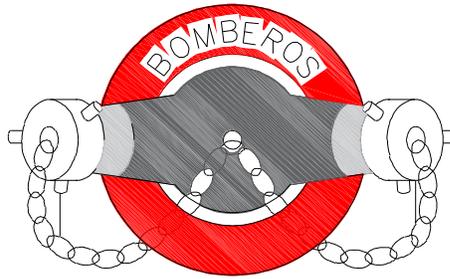


Imagen. Toma siamesa. Elaboración propia.

4.5.4. Funcionamiento del sistema

Los equipos ubicados en el cuarto de bombas tienen la función de proporcionar la presión y el suministro de agua constante al túnel; estos equipos son abastecidos de energía eléctrica y combustible diésel por parte de la Comisión Federal de Electricidad y CAPUFE respectivamente. Sin combustible dentro del depósito de la bomba diésel de emergencia el sistema puede perder flujo y presión. Cuando la presión decae debido al uso o a las pérdidas del sistema, la bomba jockey, que es eléctrica, entra en acción recuperando los niveles preestablecidos por la operadora. La computadora, programada para mantener el sistema en operación con determinados valores de presión y caudal accionará las bombas cuando lo crea necesario.

Con la red hidráulica completamente abastecida de agua y con la suficiente presión, está lista para afrontar cualquier necesidad de fluido en los puntos SOS, o las tomas siamesas en el interior del túnel. Cabe mencionar que el mantenimiento a los equipos lo realiza la operadora con intervalos de uno hasta seis meses, dependiendo de la naturaleza del aparato y las condiciones del sistema.

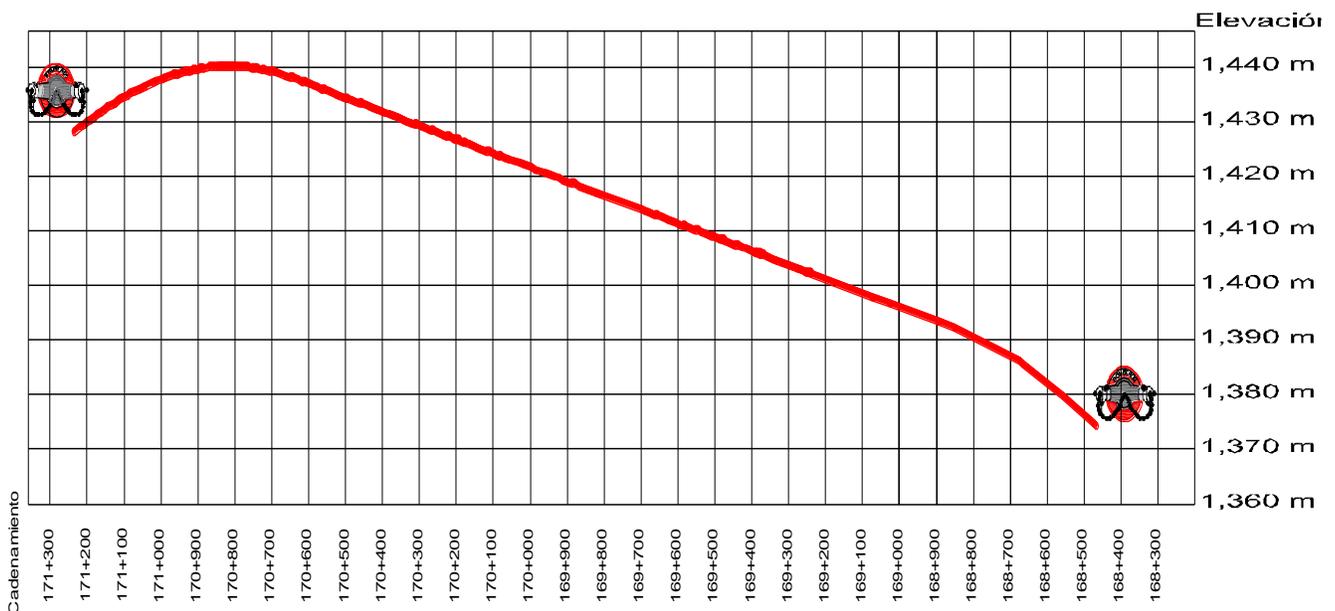


Imagen. Ubicación de las bombas siamesas en el túnel principal. Elaboración propia.

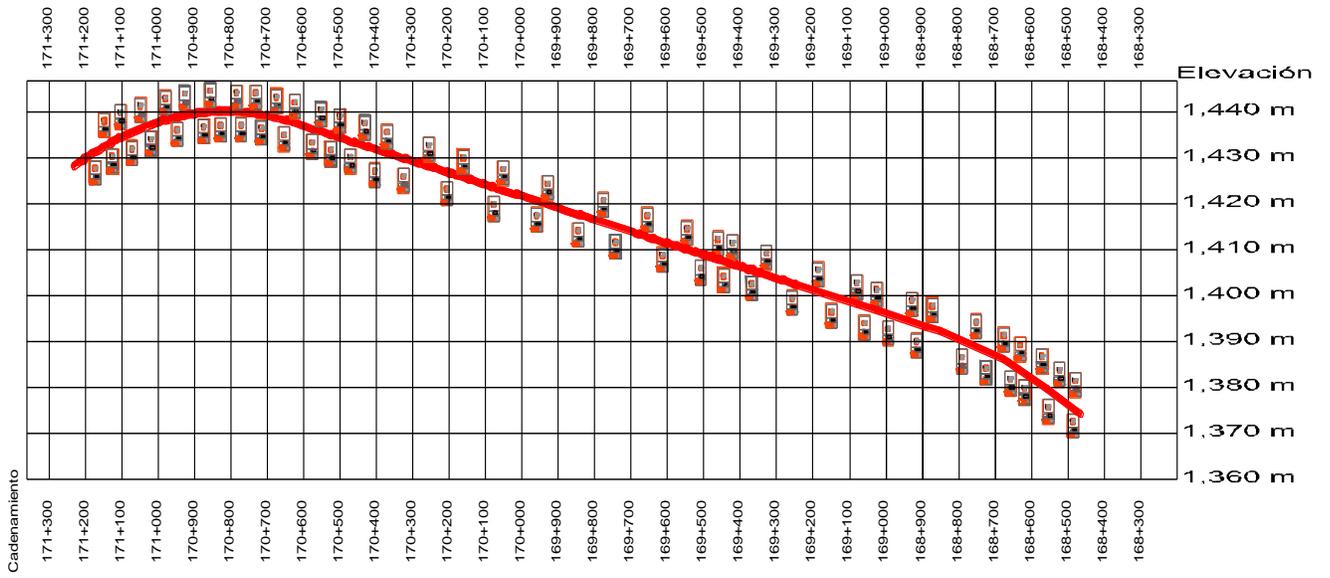


Imagen. Ubicación de los gabinetes SOS en el túnel principal. Elaboración propia.

5. Quinto capítulo: Consideraciones Sociales y Económicas

5.1. Consideración de aspectos sociales

5.1.1. Disminución de víctimas

México debe de mejorar las condiciones viales e invertir en infraestructura Carretera con el fin de lograr los objetivos a los que se comprometió en la OMS: disminuir las lesiones y muertes derivadas de hechos de tránsito; con el fin de lograr lo planteado, el Estado mexicano ha puesto en marcha políticas y técnicas recomendadas por organismos como la propia OMS y el PIARC, los cuales han demostrado, en países desarrollados, un incremento en la eficiencia en reducir números de muertes y perjuicios ocasionados por siniestros viales.

México ha puesto en marcha políticas y técnicas recomendadas por organismos como la OMS, para reducir el número de muertes y lesiones graves ocasionadas por los siniestros de tránsito. Lo anterior con el objetivo de mejorar las condiciones de la infraestructura Carretera, así como contribuir al objetivo establecido en el Plan Mundial del Segundo Decenio de Acción por la Seguridad Vial.

De acuerdo con el documento publicado en 2021, “Estimación de los costos sociales y económicos de los siniestros viales en México” publicado por el Instituto Mexicano de la Competitividad, en 2018 fallecieron 15,296 personas por hechos de tránsito, un promedio de 42 seres humanos a diario; en complemento a la cifra anterior, en el mismo año 2018 se registró que 125,495 personas sufrieron secuelas derivado de siniestros viales, las cuales fueron atendidas tanto en hospitales públicos como en privados.

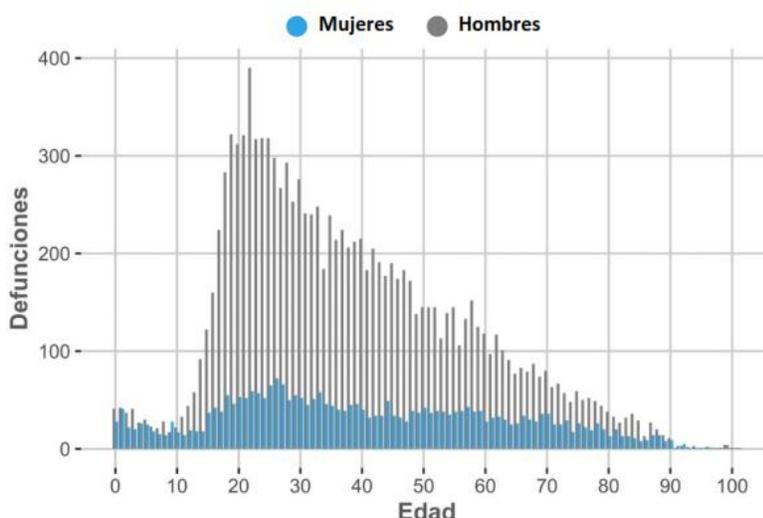


Imagen. Distribución de las defunciones por siniestros viales en 2018. Fuente: IMCO.

De acuerdo con los datos del INEGI, en 2018 las defunciones de los grupos vulnerables (niños, adultos mayores y personas con discapacidad) en siniestros de tránsito superó el 5% del total nacional; es por ello que México se debe apegar a lo estipulado en la Asamblea General de la ONU Resolución 44/25, la cual exige a los gobiernos la proporción de un ambiente seguro y protección a los grupos vulnerables contra lesiones y violencia para un óptimo desarrollo humano.



Víctimas

- de 28 a 70
- más de 70 a 113
- más de 113 a 232
- más de 232 a 335
- más de 335 a 482

Imagen. Número de fatalidades por Estado a causa de siniestros viales, 2023. Fuente: INEGI.



Víctimas

- de 386 a 1,715
- más de 1,715 a 2,926
- más de 2,926 a 4,439
- más de 4,439 a 5,611
- más de 5,611 a 6,549

Imagen. Número de heridos por Estado a causa de siniestros viales, 2023. Fuente: INEGI

Variable	Entidad	2019	2020	2021	2022	2023
Total de eventos (Absoluto)	Nacional	362,729	301,678	340,415	377,231	381,048
Fatal (Absoluto)	Nacional	3,652	3,427	3,849	4,531	4,262
No fatal (Absoluto)	Nacional	65,183	52,954	60,584	66,329	66,714
Solo daños (Absoluto)	Nacional	293,894	245,297	275,982	306,371	310,072

Tabla. Accidentes por clase. Fuente: INEGI

En 2023 fue un año récord en cuestión a eventos del tipo siniestro de tránsito; se puede identificar que si la población va en aumento, lo mismo harán los siniestros viales, y por ende, el objetivo de reducir los eventos se complica aún más.

La implementación de los SIT en infraestructura terrestre, específicamente en túneles, obras viales de gran valor debido a su importancia estratégica, influenciará en la disminución de las cifras de siniestros. De acuerdo con datos del Instituto de Tráfico y Seguridad Vial español de la Universidad de Valencia, los SIT pueden intervenir en prevenir y reducir siniestros viales hasta en un 50% y la reducción de siniestros graves hasta en un 60%. De acuerdo con el investigador José Ignacio Lijarcio, de la misma institución, y responsable del estudio “Los sistemas inteligentes de transporte, claves para reducir la siniestralidad”, la información que se le ofrece al usuario en tiempo real puede ser determinante para reducir en riesgo en situaciones complejas que ameritan soluciones rápidas para evitar peligros potenciales. Con base en lo anterior, podemos esperar que las cifras que se reportan al INEGI bajen en la Carretera Durango-Mazatlán donde se implementen correctamente los SIT.

5.1.2. Instalaciones hospitalarias

En la última década, las consecuencias de los siniestros de tránsito han propiciado un alto costo en la Salud Pública al demandar más instalaciones para la atención de personas lesionadas y heridas; y es que las secuelas de los acontecimientos en las Carreteras no solo afectan a quien padece del traumatismo, sino también a sus familiares y a su entorno laboral derivado del tratamiento, tiempo y gastos. Según informes del secretario de Salud del Estado de Sinaloa, Cuitláhuac González Galindo, se informó que la administración considera a los siniestros viales como un problema de salud pública debido a los gastos en servicios de traumatología derivado de los incidentes en la red vial, pues las fracturas de miembros y las conmociones de cabeza son los tipo de secuelas más comunes. Cabe mencionar que aproximadamente el 20% de las víctimas de siniestros viales graves quedan permanentemente discapacitados, lo que repercute en el estilo y la esperanza de vida de la sociedad.

Con la aplicación de SIT en la red Carretera, se reducirán los números de pacientes en los hospitales; por otro lado, es preciso mencionar que los tiempos de traslado desde los lugares de los siniestros hasta las instalaciones hospitalarias varía enormemente. De acuerdo con Fundación MAPFRE, una hora es el periodo crítico tras un incidente de tránsito durante el cual la intervención de los servicios de emergencia puede ser decisiva para salvar vidas, ya que a mayor tiempo que pase una persona agravada sin atención médica, se reducen sus posibilidades de supervivencia y recuperación.

En lo profundo de la Sierra Madre Occidental, lugar de ubicación del túnel “El Sinaloense” y de muchos otros de los 62 túneles que conforman la Autopista Durango-Mazatlán, no existen hospitales que se encuentren a menos de treinta minutos de distancia; es cierto que existen centros de salud como el Hospital Integral Concordia a 50 minutos del túnel, y el Centro de Salud “El Palmito” a 38 minutos, pero estos lugares no atienden cuestiones referentes a especialidades en traumatología. La caseta más cercana al túnel “El Sinaloense” es la Plaza de Cobro No. 98 Mesillas, ubicada a 35 minutos del túnel, desde esta caseta se mandan las unidades de apoyo vial a los usuarios que hayan tenido un inconveniente como una ponchadura o un servicio de grúa, cabe mencionar que el equipo de apoyo incluye una ambulancia equipada para el traslado de pacientes; sin embargo, las instalaciones de esta caseta no están contempladas para recibir personas con su estado de salud comprometido.



Imagen. Base de emergencia y auxilio vial de la P.C. 98. Fuente: Google Maps.

5.1.3. Trabajo y prestaciones

La implementación de los SIT en el túnel “El Sinaloense”, así como su uso y mantenimiento obedece al mejoramiento de la infraestructura vial, con el fin de minimizar daños ocasionados por los hechos de tránsito; los siniestros viales afectan tanto a los usuarios, al organismo operador que explota la vía, a las comunidades aledañas y a las autoridades; por lo anterior, el organismo gestiona la conservación de la vía y el mantenimiento de los equipos, para lo cual convoca licitaciones públicas o de invitación a al menos tres personas, de acuerdo con la complejidad y tiempo del trabajo.

Descripción detallada del procedimiento de contratación:

CONSERVACIÓN MENOR DE TÚNELES EN LA AUTOPISTA DURANGO - MAZATLÁN (62TÚNELES)

Ley/Soporte normativo que rige la contratación:

LEY DE OBRAS PÚBLICAS Y SERVICIOS RELACIONADOS CON LAS MISMAS

Tipo de procedimiento de contratación:

LICITACIÓN PÚBLICA

Año del ejercicio presupuestal:

2024

Procedimiento exclusivo para MIPYMES:

NO

Imagen. Título de un concurso de CAPUFE del año 2024. Fuente: Compranet.com

Durante la fase de operación, la mano de obra local ya no es tan requerida debido a que la inversión fuerte se realizó durante la fase de construcción; sin embargo, cada año, CAPUFE, el organismo operador, lanza convocatorias para realizar trabajos de conservación periódica a las estructuras de la Carretera, incluidos los túneles; por ello, empresas que hayan licitado y ganado concursos para realizar el mantenimiento a los

diferentes equipos de los SIT, podrían llegar a necesitan mano de obra no especializada para trabajos de retiro y montaje; el personal no profesional requerido por la convocante suele tener un grado de participación enorme dentro de las labores de estos contratos llegando algunos a permanecer hasta un año o más tiempo. En el año 2016 la empresa española Euroconsult realizó el mantenimiento menor a 61 túneles de la Carretera Durango-Mazatlán, incluido el túnel “El Sinaloense”, en dichos trabajos se realizó limpieza de infraestructura, afine de taludes, pintada de equipos y estructuras, remoción de equipos dañados, entre otras actividades; cabe mencionar que para la ejecución de dichas labores la empresa requirió el apoyo de al menos el 10% de mano de obra local, de acuerdo con las bases del concurso. La contratación de mano de obra de la región otorga mejora en la calidad de vida de las comunidades al permitir que los empleados posean prestaciones como seguro y ahorro para la vejez, lo cual les da tranquilidad a las familias al estar aseguradas ante instituciones como el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) y poder acceder a créditos para la vivienda otorgados por el Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT).



Imagen. Trabajadores pintado la barrera vehicular. Fuente: Héctor Muñoz.

5.1.4. Eficiencia vial

Uno de los principales aspectos en los que afecta la aplicación de SIT en la infraestructura vial, ha sido la mejora en la calidad del servicio de la Autopista; la instalación de dispositivos inteligentes mejora las condiciones de tráfico local, reduciendo así los tiempos de traslado entre las dos ciudades y entre comunidades locales. Los equipos instalados en el túnel tales como cámaras, sensores, altavoces, gabinetes, señales, barreras, etc., permiten una mejor gestión del tráfico, lo que se traduce en mejores condiciones para transitar la Carretera. Un beneficio ecológico derivado de un tránsito fluido en la Carretera es la disminución de agentes contaminantes, incluidos los producidos dentro del túnel. La menor concentración de gases como el monóxido de carbono dentro del túnel producirá un menor consumo eléctrico por la pasividad de los ventiladores.

5.1.5. Accesibilidad

La inclusión de personas con discapacidad dentro de la infraestructura vial obedece a la aplicación del Artículo 9 de la LGMSV, cuya observancia es Nacional; la cual indica que la movilidad es el derecho de toda persona a trasladarse en un sistema integral, seguro y accesible. Debido a la necesidad de ofrecer a los

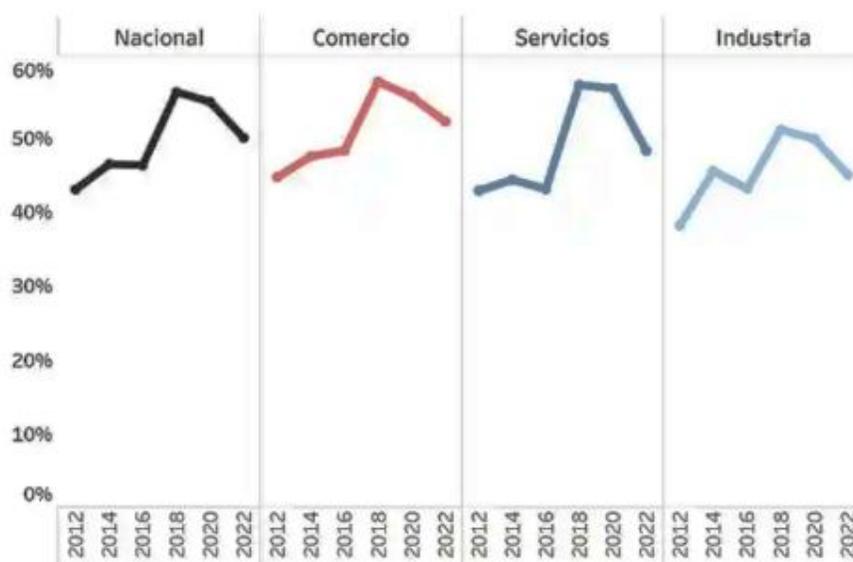
usuarios, un servicio digno y eficiente, algunos sistemas como el SICU (Sistema Inteligente de Comunicación con los Usuarios) anexaron instructivos impresos dentro de los postes SOS y los gabinetes SOS, así como las instrucciones en inglés de cómo operar el aparato.

5.1.6. Combate a la inseguridad

“Al trabajar como transportista enfrenté varios intentos de robo, pero el más reciente fue el más violento. Mientras transportaba mercancía, un grupo de hombres armados me interceptó en plena Carretera, obligándome a detener el camión. Después de golpearme, se llevaron la carga completa” (Anónimo).

El párrafo anterior es la declaración de un conductor de transporte pesado que fue asaltado en una Carretera mexicana; y es que existen muchos testimonios de personas que han sido víctimas de la delincuencia en las Autopistas. Para el sector privado, los actos delictivos generan desconfianza en el sistema debido a las afectaciones a la cadena de suministro de los productos, lo que conlleva a la subida de precios a los consumidores por las pérdidas, los costos de seguros y medidas de seguridad adicional; para los usuarios significa menor confiabilidad en el derecho al libre tránsito por las Carreteras y menor nivel de seguridad.

En el 2022 se realizó la sexta entrega de la Encuesta Nacional de Victimización de Empresas por parte del INEGI, en la cual se muestra que 1 de cada 2 empresas mexicanas advirtió las condiciones de inseguridad al transportar productos por las Carreteras. Asimismo, se estimaron cerca de 98,725 delitos en el año 2021, y se reportaron a las autoridades 8,836 robos a transporte privado.



Gráfica. Sensación de las empresas respecto a la inseguridad al transportar mercancía por las Carreteras (2012 a 2022). Fuente: INEGI.

El problema carretero parece que fuera a nivel nacional, sin embargo, la percepción de inseguridad de la población y los privados se concentra principalmente en las Carreteras del sur de México. En el caso de los Estado de Sinaloa y Durango, la percepción de inseguridad para las Carreteras de cuota se halla en cerca del 25%. El robo al transporte en Carreteras mexicanas no es el único delito que se comete en las Carreteras de México, por otro lado se encuentran la extorsión (19.8%), amenazas (6.9%), entre otros.

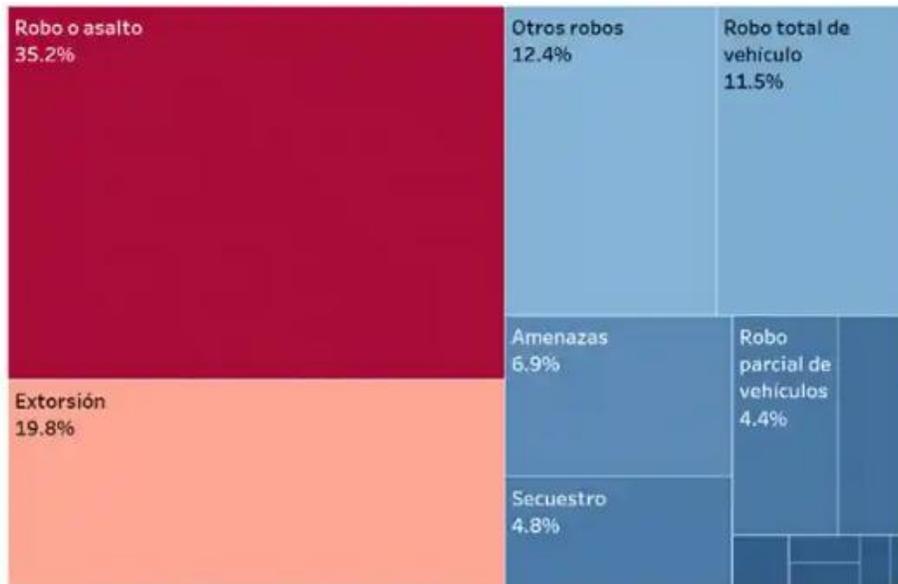


Imagen. Delitos que se cometen en Carreteras mexicanas (2022). Fuente: INEGI.

La instalación y mantenimiento de SIT en las Carreteras cuota como la Durango-Mazatlán ayudan a identificar, prevenir y evitar los delitos a transportistas y usuarios. Los equipos que permiten monitorear la Autopista son principalmente las cámaras del CCTV, las cuales capturan evidencia de conductas sospechosas e identifican vehículos robados e involucrados dentro de actividades ilícitas; por otro lado, los postes SOS y los gabinetes SOS permiten a los usuarios comunicarse con el CDC y detallar los pormenores de su situación, el CDC por su parte podrá mandar alguna patrulla de la Guardia Nacional o equipos de emergencia si la situación lo amerita.

5.2. Consideración de aspectos económicos

5.2.1. Costo de Operación

La instalación del sistema de gestión y de dispositivos en túneles y estructuras en las Carreteras federales, tanto libres como cuotas, conlleva al gobierno y a las constructoras un costo de inversión que se recupera con el beneficio en la sociedad por la disminución del costo horario. Los usuarios que utilizan la Carretera Durango-Mazatlán, y en general cualquier tipo de vía, absorben costos por operar y mantener el transporte que utilizan. Entre los gastos directos que los usuarios desembolsan por un único propósito de transitar por una vía de cuota se encuentran:

- Peaje.
- Costo de combustible.

Otros costos intrínsecos que se realizan son:

- Costo de adquisición del vehículo.
- Costo del seguro.
- Costo del mantenimiento del vehículo.
- Depreciación.
- Pago de tenencia y verificación.
- Costo de neumáticos.

Algunos costos adicionales, que no necesariamente se gastan pero que influyen dentro de la microeconomía son:

- Costo de alimentos y bebidas.
- Hospedaje y pernocta.
- Costo del uso de sanitarios en paraderos.
- Sistema de navegación (GPS).
- Sistema de comunicación por radio.

Es así, que el viaje de un lado a otro conlleva bastantes gastos que los usuarios y las empresas transportistas deben considerar. Con la mejora en los tiempos de traslado y en la comodidad del uso de la Carretera Durango-Mazatlán cuota, los costos asociados al gasto directo se reducen considerablemente, en primera instancia, debido a la geometría de la vialidad y a la capacidad de transitar a velocidades que rondan los 80 [km/h], la eficiencia de los vehículos aumenta, con lo cual disminuye el gasto de combustible; por otra parte, existe un precio sombra referente a la reducción del tiempo de traslado, el cual es difícil de calcular debido a la variedad de usuarios y el motivo de su viaje, sin embargo, no deja de ser una reducción en el costo a la sociedad.

5.2.2. Desarrollo económico y competitividad

La mejora del tránsito en la Carretera Durango-Mazatlán por el uso eficiente de los SIT, incrementa los beneficios de las empresas transportistas y mejora el desarrollo regional. Al tomar menos tiempo y menores costos de trayecto, las empresas privadas tendrán mejores rendimientos y mayores ganancias, lo que se traduce en una mejor logística, mejores prestaciones para sus empleados e incremento sustancial en sus utilidades. No solo las grandes empresas son las que reciben mejores condiciones de operatividad con la mejora en la infraestructura vial, también las MIPYMES obtienen grandes beneficios derivado de la facilidad con la que pueden mover sus productos y reducir los gastos de traslado.

En términos locales, el desarrollo de la Carretera beneficia a las comunidades cercanas con mejoras en servicios hospitalarios, construcción de caminos a cabeceras municipales, instalación de postes de CFE, instalación de red sanitaria y de agua potable, etc.; sin embargo, un beneficio para estos pueblos derivado de la implementación de los SIT y el continuo mantenimiento de los túneles es la atracción de capital. Las empresas contratistas que desarrollan los servicios de conservación necesitan campamentos, lugares de almacenamiento y bienes para los trabajadores de sus contratos; esto apoya en gran medida al comercio local con el movimiento de efectivo y la inyección de capital externo, lo que se traduce en bienestar para los pueblos y trabajo para los ciudadanos.

5.2.3. Costo por siniestros viales

El grupo de personas que más resiente los efectos de los siniestros son los jóvenes de 15 a 29 años, con un 11% de defunciones, por otro lado el 89% de las defunciones pertenecen al grupo de personas económicamente activas (18 a 65 años). De acuerdo con los datos del INEGI, en 2018 los siniestros viales le costaron a México un aproximado de entre 174 y 204 mil millones de pesos (\$174,000,000,000-\$204,000,000,000), de los cuales entre 111 y 121 mil millones de pesos corresponden a los costos no materiales del siniestro, sufrimiento y dolor de las víctimas y sus familias; otros 19 mil millones de pesos se relacionan a pérdidas por las muertes prematuras y lesiones de los individuos en edad productiva; 41 mil millones de pesos son causados por daños materiales a la propiedad pública y privada; y otros 3 mil millones

de pesos son referentes a los gastos en atención médica para las víctimas que sufrieron el percance.

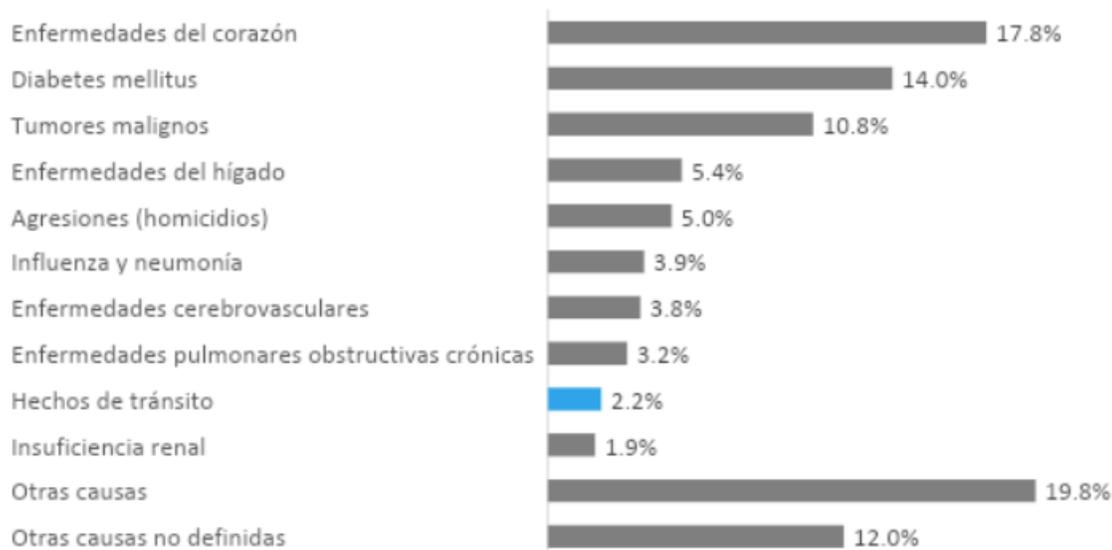


Imagen. Principales causas de mortalidad en México en 2018. Fuente INEGI.

Los costos asociados a los siniestros viales equivalen entre el 0.78% y el 0.92% del PIB de México del 2017; sin embargo no se consideran otros costos como aquellos relacionados al uso de servicios como los de ambulancias, policía, bomberos, costos de seguros, costos legales, costos derivados de la no disponibilidad de los vehículos siniestrados, costos funerarios y costos de congestión debido al cierre total o parcial de la vía.

En contraparte al 2018, el IMT estimó, usando la metodología desarrollada por McMahon & Dahdah, que los costos derivados de siniestros viales equivalían al 2.63% del PIB de México, una suma de 540 mil millones de pesos. Los costos por muertes prematuras de personas en su etapa productiva afectan negativamente al PIB de la nación, de las 15,296 muertes por siniestros viales en 2018, 13,483 fueron de personas en edad productiva; el INEGI estimó un costo de vida en 2.9 millones de pesos, lo que equivale a un total de 44 mil 930 millones de pesos. Con este antecedente, la muerte de una persona menor de 65 años tuvo un costo de 1.4 millones de pesos para la economía nacional, lo que equivale a 30 veces el salario promedio anual de una persona económicamente activa en el 2018.

Los datos por Egresos Hospitalarios registraron un total de 45,516 lesiones no letales por siniestros viales que ameritaron algún tipo de hospitalización en unidades públicas y privadas, del total de las lesiones, 73% fueron lesiones graves y 27% fueron lesiones leves. Para cuantificar el costo por lesiones, se ve desde la perspectiva de la víctima, su sufrimiento, dolor y pena, así como la de su familia; con base en lo anterior, el modelo de estudio de Beg y Tomijima determina un costo aproximado entre 525,144 pesos y 605,968 pesos por lesión, dando un total de entre 65,903 y 76,046 millones de pesos.

De acuerdo con el IMT, ocurrieron 366,182 hechos de tránsito en 2018, involucrando a un total de 641,625 vehículos, de los cuales el 3% (18,226 vehículos) corresponden a siniestros en Carreteras federales. De acuerdo con el modelo matemático de daños, en 2018 se estimó un costo de daños materiales de 41,172 millones de pesos, en donde el costo por siniestro de vehículo ligero fue de 28,815 pesos y el costo por siniestro de vehículo pesado fue de 138,213 pesos. Cabe mencionar que los daños cuantificados corresponden

a daños al vehículo, sin contar con los daños a la infraestructura vial, cosa que no se tiene calculado.

La implementación de SIT en infraestructura reduce enormemente los costos asociados a los siniestros viales, no solo por la prevención y la mitigación de los daños, también por el ahorro a la Nación en gastos hospitalarios y relacionados cuando sucede un evento de esta naturaleza en las Carreteras federales.

6. Sexto capítulo: Conclusiones y Recomendaciones

6.1. Síntesis de los hallazgos y resultados obtenidos

6.1.1. Mejoras en materia de Seguridad vial

Para la identificación de los problemas de seguridad vial y riesgos en el tramo del túnel “El Sinaloense” se consideraron los siguientes puntos:

- Identificación visual de las características generales en el exterior del túnel.
- Identificación visual de las características generales del interior del túnel.

En el exterior del túnel se hallaron ciertas deficiencias en ambas entradas, como la nula operación de los PMV, cabe mencionar que la infraestructura se aprecia en buenas condiciones, pero no emite señal alguna. Los dispositivos instalados en las cercanías de los portales de entrada son PMV sencillos que no se encuentran caracterizados dentro del Manual de Señalización 2023, pero que deberían de mostrar la flecha característica del paso de los vehículos.



Imagen. PMV en el Lado Durango. Fuente: Google Maps.



Imagen. PMV en Lado Mazatlán. Fuente: Google Maps.

Se identificaron ausencias de señalamiento vertical a las afueras del túnel, específicamente señales como la SP-42 que previene sobre la cercanía del túnel cuando éste tiene una longitud mayor a 200 metros en el Lado Mazatlán, ya que el Lado Durango si cuenta con esta señal preventiva; la SR-48 que indica a los usuarios la obligación de encender las luces exteriores del vehículo para identificar objetos en penumbra y dar señales de la ubicación del mismo vehículo dentro del túnel en el Lado Durango, ya que el Lado Mazatlán si cuenta con esta señal restrictiva; y la SR-20, que indica a los usuarios la imposibilidad de detenerse momentáneamente en las entradas y salidas de emergencia y aquellos lugares donde un vehículo detenido pueda provocar un siniestro vial o congestionamiento, esta señal es necesaria en el interior del túnel.



Imágenes. Señales de tránsito que hacen falta en ciertas ubicaciones del túnel. Fuente: Manual de señalización y dispositivos para el control de tránsito en calles y Carreteras, 2023.

Como complemento, CAPUFE consideró pertinente la instalación de un señalamiento informativo donde aparece el número de emergencias directo a su CDC; sin embargo, solo se encuentra en el exterior del túnel del Lado Durango.

Las estructuras como los túneles deben ser pintados de tal manera que los conductores puedan identificar su presencia a una distancia considerable, por ello son necesarias las marcas en los hastiales. De acuerdo con el Manual de Señalamiento 2023, para las estructuras que cuenten con una altura de gálibo mayor a 4.5 metros, es necesario pintar ambos hastiales hasta una altura de 3 metros desde el nivel de la rodadura y 1 metro de ancho. En el caso del túnel “El Sinaloense”, las marcas en la estructura solo están colocadas en un hastial en ambos portales de entrada; lo conducente en este caso sería colocar las marcas en ambos hastiales y en ambos portales.



Imagen. Señalamiento en la estructura actual. Fuente: Google Maps.

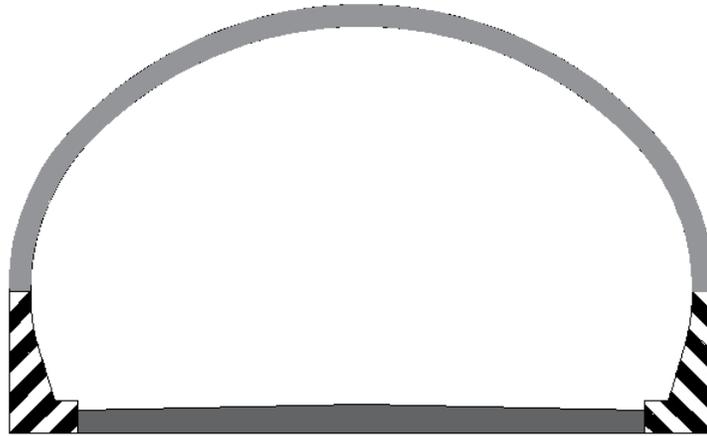


Imagen. Señalamiento en la estructura correcta. Elaboración propia.

En el interior del túnel las condiciones viales cambian debido a la poca visibilidad, por ello, es importante contar con un sistema de iluminación adecuado que permita a los conductores realizar las transiciones de forma cómoda. Las luminarias del túnel se deben encontrar en excelentes condiciones, además en caso de falla en el suministro de energía eléctrica, se debe poner en marcha los generadores diésel de respaldo que se encuentran en la sala de máquinas; el retraso en el arranque y la operación de los generadores puede generar dificultad para los conductores dentro del túnel.



Imagen. Condiciones de luz en el túnel el 19/08/2022. Fuente: César Jim.



Imagen. Condiciones de luz del túnel el 19/01/2025. Fuente: RAFERMO.

Las bahías de emergencia son espacios destinados al aparcamiento de vehículos que no puedan continuar su marcha debido a p.e. fallas mecánicas; sin embargo, en el túnel “El Sinaloense” no se cuenta con el señalamiento horizontal conformado por rayas con espaciamiento logarítmico con botones de acuerdo con el MDCTC. Las rayas tienen la función de regular la velocidad de los vehículos produciendo al conductor una sensación de óptica y auditiva de aceleración.

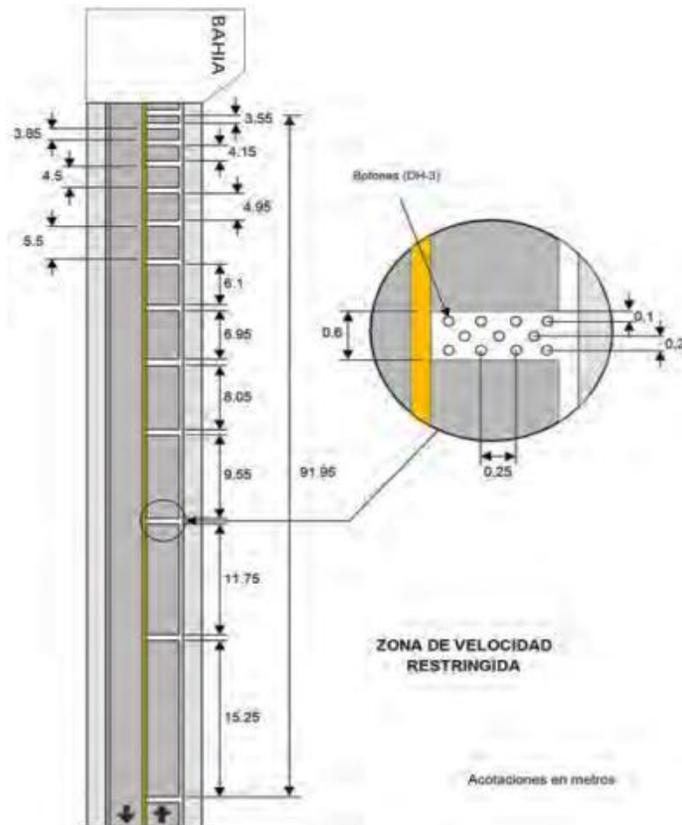


Imagen. Diseño de rayas con espaciamiento logarítmico antes de una bahía de emergencia. Fuente: MDCTC.

Las inclemencias del clima pueden ser factor suficiente para alterar de forma negativa el tránsito de los usuarios por la Carretera. Los túneles suelen ser espacios seguros donde la lluvia o el viento no afectan debido a su naturaleza confinada, sin embargo, otros fenómenos meteorológicos como la neblina suelen tener repercusiones incluso en los túneles.



Imagen. Neblina en el puente “Baluarte” a pocos kilómetros del túnel “El Sinaloense”. Fuente: Noroeste.com

Aunque el túnel está diseñado para proteger a los vehículos de las inclemencias del tiempo, las condiciones

climáticas adversas fuera del túnel pueden afectar la seguridad vial en sus accesos y alrededores. Lluvias intensas, neblina o deslizamientos de tierra en las pendientes de la Sierra Madre Occidental pueden ocasionar siniestros en las vías de acceso y salidas del túnel. En caso de lluvia intensa o neblina, la visibilidad puede verse reducida, lo que aumenta el riesgo de colisiones en las entradas y salidas del túnel.

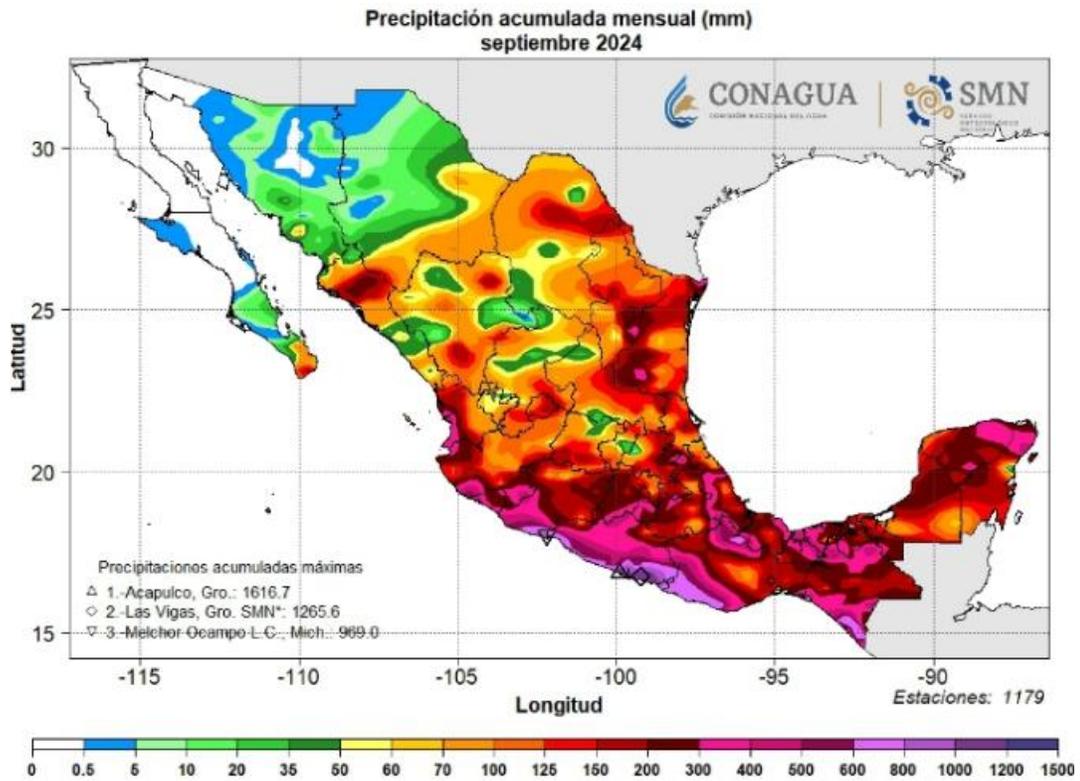


Imagen. Precipitación acumulada mensual en septiembre 2024. Fuente: CONAGUA

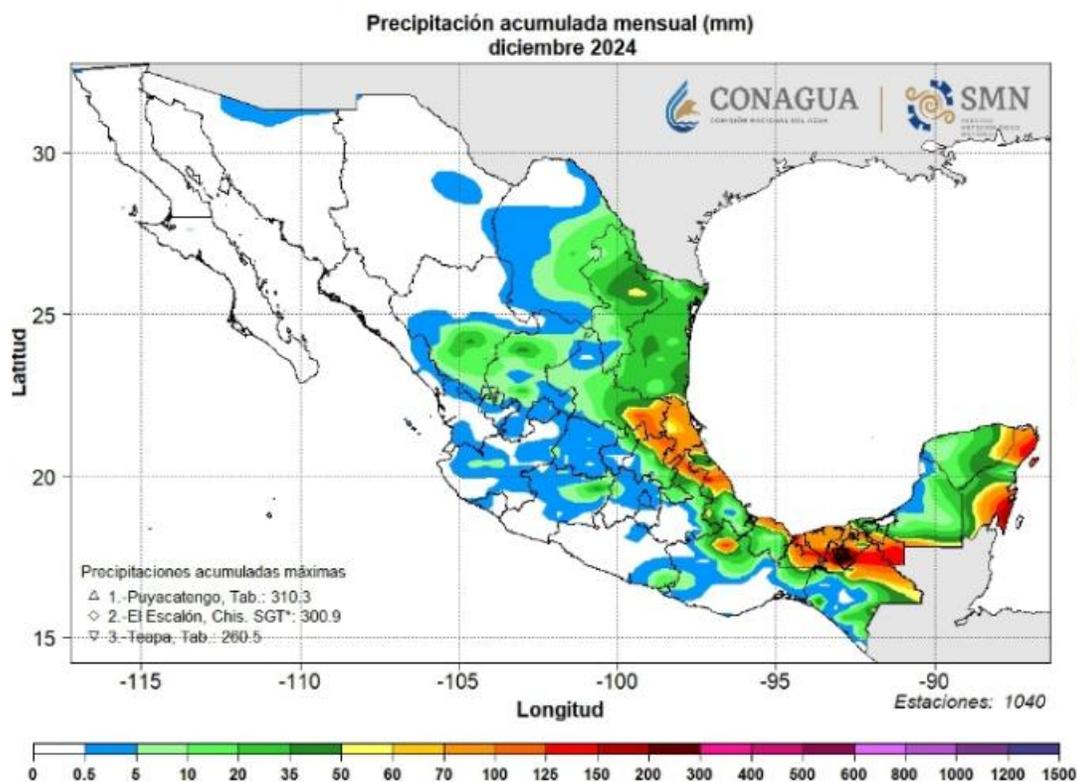


Imagen. Precipitación acumulada mensual en diciembre 2024. Fuente: CONAGUA

Debido a las bajas precipitaciones en la zona y a la poca disponibilidad del agua, algunos sistemas como el Sistema Inteligente de Extinción de Incendios puede que no funcionen eficientemente. Aun con el enorme tanque de almacenamiento de agua con el que cuenta el SIEI del túnel “El Sinaloense”, el costo del constante suministro de líquido no es redituable a la operadora, por eso algunos equipos como las bombas se pudieran encontrar inoperantes. En los Estados de Sinaloa y Durango, como se puede apreciar en los mapas de CONAGUA, tanto en septiembre, mes en el que estadísticamente llueve más, y diciembre, mes en el que estadísticamente llueve menos, existen niveles de precipitación relativamente bajos respecto a otros Estados de la República Mexicana como Chiapas y Tabasco.

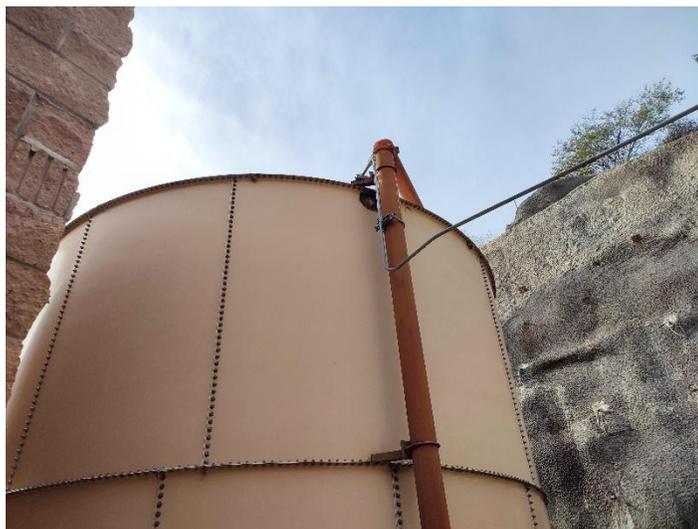


Imagen. Tanque de almacenamiento de agua. Fuente: Miguel Echevarría.

6.2. Recomendaciones para futuras investigaciones y acciones de mejora continua en seguridad vial en túneles

Con base en toda la información recolectada para la elaboración de este documento, se puede concluir que la aplicación de SIT en infraestructura mexicana contribuye en gran medida con la seguridad vial, y es que la sola existencia de la Ley General de Movilidad y Seguridad Vial da elementos para la mejora continua y espacio para la innovación. Si bien existen desafíos sociales, técnicos y económicos que todavía hacen falta superar, es posible implementar de mejor manera los SIT con el propósito de brindar bienestar y una mejor vida a los mexicanos. Es preciso mencionar que el campo de los SIT se puede beneficiar del auge de la Inteligencia Artificial y el manejo de Big Data para mejorar los software y plantear soluciones eficaces en las que no intervengan personas con el fin de atender rápidamente los incidentes y solicitudes de los usuarios.

Las investigaciones futuras pueden tomar la dirección de buscar una solución acerca de los delitos cometidos en Carreteras y calles de México; si bien es un tema que no ha tomado mucho interés en particular, afecta considerablemente la calidad del servicio en la infraestructura y aminora los beneficios que se perciben de transitar en vías de cuota.

Por otra parte, la gran inversión que los organismos operadores, el Gobierno Federal y las empresas privadas, por medio de instituciones como BANOBRAS, fideicomisos como el FONADIN y concesiones Carreteras, han otorgado a las Autopistas mexicanas un impulso en el desarrollo nacional, pero dejando por detrás a las Carreteras libres y caminos rurales relegados a un programa de mantenimiento nulo e incluso deficiente, afectando a los usuarios que no pagan peaje y elevando sus costos operativos vehiculares.

Finalmente, creo que es imprescindible el conocimiento y cumplimiento de las Leyes, Reglamentos y protocolos que la ciudadanía debe seguir para el actuar diario en la Red vial; el movimiento personas y mercancías afectan a todos los involucrados, y es el deber de cada ciudadano conocer el cómo comportarse frente a situaciones comunes y complejas; tan solo comentar que entre el 60% y el 70% de las personas mayores de 18 años en México no saben cómo usar un extintor de PQS, crucial para sofocar incendios de origen químico.

La recomendación final va orientada a que la educación en prevención, tanto a niños como a adultos para conocer cuestiones sociales, puede salvar vidas. La instauración de clases de Seguridad Vial, o al menos pequeños cursos intensivos en primarias y secundarias, como lo marca el artículo 3ro de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en su numeral V: *“Toda persona tiene derecho a gozar de los beneficios del desarrollo de la ciencia y la innovación tecnológica. El Estado apoyará la investigación e innovación científica, humanística y tecnológica, y garantizará el acceso abierto a la información que derive de ella, para lo cual deberá proveer recursos y estímulos suficientes, conforme a las bases de coordinación, vinculación y participación que establezcan las leyes en la materia; además alentará el fortalecimiento y difusión de nuestra cultura”* puede impulsar el desarrollo de tecnología y acercar a los jóvenes y adultos al mejor entendimiento de la infraestructura vial del país.

171

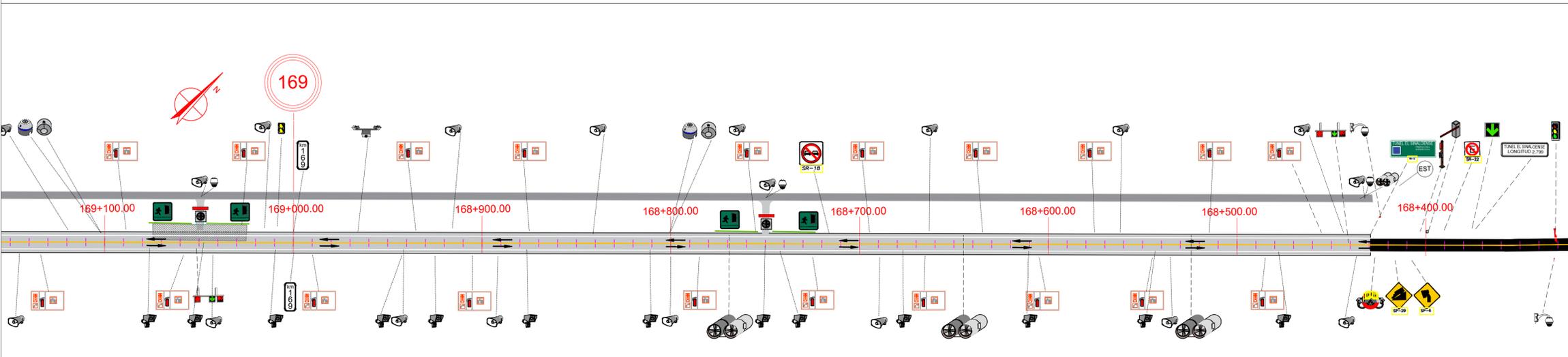
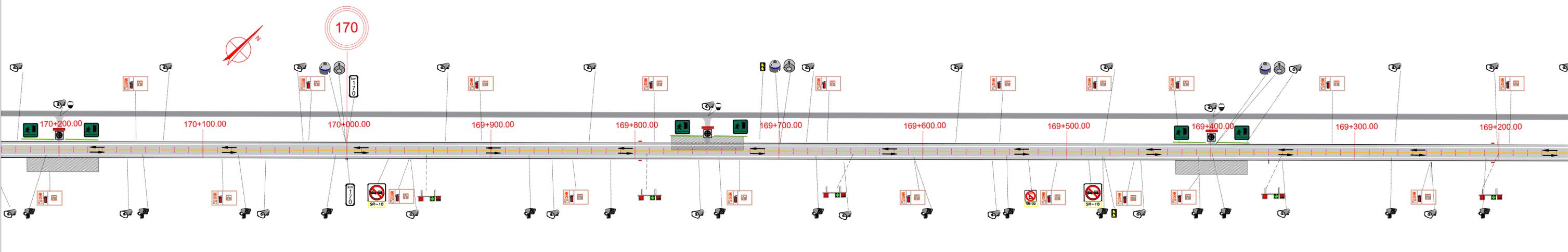
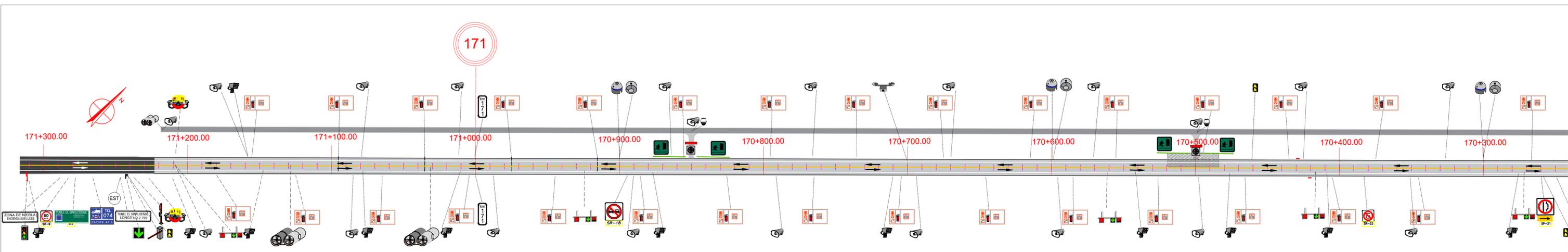
170

169

<< HACIA MAZATLÁN

HACIA DURANGO >>

171+300.00 171+200.00 171+100.00 171+000.00 170+900.00 170+800.00 170+700.00 170+600.00 170+500.00 170+400.00 170+300.00 170+200.00 170+100.00 170+000.00 169+900.00 169+800.00 169+700.00 169+600.00 169+500.00 169+400.00 169+300.00 169+200.00 169+100.00 169+000.00 168+900.00 168+800.00 168+700.00 168+600.00 168+500.00 168+400.00 168+300.00 168+200.00



SIMBOLOGÍA				
SEÑAL DE EMERGENCIA		SEÑAL ZONA DE NIEBLA	ZONA DE NIEBLA ENCIENDA SUS LUCES	ALTA VOZ
AMPLIACIÓN DE CARRIL		SEÑAL DE CADENAMIENTO		TOMA SIAMESA
SEÑAL DE VELOCIDAD MÁXIMA		SEÑAL DE LONGITUD	TUNEL EL SINALOENSE LONGITUD 2.739	SEMAFORO RAV
SEÑAL DE CURVA		VENTILADOR DE TUNEL		SEMAFORO AA
SEÑAL DE PENDIENTE DESCENDENTE		PANEL DE MENSAJE VARIABLE		BARREBA VEHICULAR
SEÑAL DE TUNEL		GABINETE SOS		OPACÍMETRO
SEÑAL DE NO ESTACIONARSE		POSTE SOS		VENTILADOR DE PRESURIZACION
SEÑAL DE NO REBASAR		CÁMARA BALA		PUERTA CORTAFUEGOS
SEÑAL INFORMATIVA		CÁMARA PTZ		DETECTOR NO2
SEÑAL INFORMATIVA DE CARPUFE		ESTACIÓN METEOROLÓGICA	EST	DETECTOR CO

CROQUIS DE LOS SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE Y SEÑALAMIENTO VERTICAL ACTUAL DEL TUNEL "EL SINALOENSE"

REALIZA: ING. IVÁN RUBIO GARCÍA

Bibliografía

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (s.f.). *Estructura de la población*. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/temas/estructura/>

Organización Mundial de la Salud. (2024). *Global report on health equity for persons with disabilities*. OMS. <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789240086517>

Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos. (s.f.). *Decenio de acción para la seguridad vial*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/capufe/articulos/decenio-de-accion-para-la-seguridad-vial-265479>

Diario Oficial de la Federación. (2020, 18 de diciembre). *Decreto por el que se expide la Ley General de Movilidad y Seguridad Vial*. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5608174&fecha=18/12/2020#gsc.tab=0

Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (s.f.). *Ley General de Movilidad y Seguridad Vial*. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGMSV.pdf>

NMás. (2024). *Choque de tráileres deja a 3 personas calcinadas en túnel de la superCarretera Durango-Mazatlán*. <https://www.nmas.com.mx/coahuila/choque-de-trailers-deja-a-3-personas-calcinadas-en-tunel-de-la-superCarretera-durango-mazatlan/>

Eureka Network. (2012). *Project 45 description*. Web Archive. <https://web.archive.org/web/20120403075558/http://www.eurekanetwork.org/project/-/id/45>

IEEE Xplore. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/209730>

IEEE Xplore. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/209729>

Almonacid, P., & Herrera, D. (2021). *Análisis y evaluación de infraestructura vial en áreas urbanas y rurales*. *Revista de Ingeniería de Transporte*, 18(1), 35-50. Recuperado de https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-28132021000100016

ATMB. (s.f.). *Historia del túnel del Mont Blanc*. Recuperado de <https://www.atmb.com/connaitre-atmb/histoire-datmb-les-dates-cles-de-la40-la-rn205-et-le-tunnel-du-mont-blanc/histoire/histoire-du-tunnel-du-mont-blanc/>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (s.f.). *Acciones para la seguridad vial y la infraestructura de transporte en México*. Recuperado de <https://sct.gob.mx/index.php?id=5645>

El Sol de Mazatlán. (2024, 7 de abril). *Se incendia tráiler en la Carretera Mazatlán-Durango*. Recuperado de <https://oem.com.mx/elsoldemazatlan/policiaca/se-incendia-trailer-en-la-Carretera-mazatlan-durango-13009260>

Línea Directa Portal. (2024, 7 de abril). *Choque de tráiler con dos pipas y un vehículo en un túnel suspende circulación por la Mazatlán-Durango*. Recuperado de https://lineadirectaportal.com/policiaca/choque-de-trailer-con-dos-pipas-y-un-vehiculo-en-un-tunel-suspende-circulacion-por-la-mazatlan-durango-2024-04-07_1093095

Noroeste. (2024, 7 de abril). *Reportan accidente en la Mazatlán-Durango*. Recuperado de

<https://www.noroeste.com.mx/buen-vivir/reportan-accidente-en-la-mazatlan-durango-OMNO855469>

Línea Directa Portal. (2024, 12 de septiembre). *Se registra choque e incendio dentro del túnel El Sinaloense y cierran Autopista Mazatlán-Durango*. Recuperado de https://lineadirectaportal.com/policiaca/se-registra-choque-e-incendio-dentro-del-tunel-el-sinaloense-y-cierran-Autopista-mazatlan-durango-2024-09-12_1208860

Adiscusión. (2024). *Por accidente en el túnel 'El Sinaloense', cierran la Autopista Mazatlán-Durango*. Recuperado de <http://www.adiscusion.com.mx/Noticia.aspx?q=Por-accidente-en-el-t%C3%BAnel-%E2%80%98El-Sinaloense%E2%80%99--cierran-la-Autopista-Mazatl%C3%A1n-Durango--4c01>

El Sol de Mazatlán. (2024). *Vuelca tráiler en la Autopista Durango-Mazatlán y cierran por horas la vialidad*. Recuperado de <https://oem.com.mx/elsoldemazatlan/policiaca/vuelca-trailer-en-la-Autopista-durango-mazatlan-y-cierren-por-horas-la-vialidad-20998609>

Notigram. (2023, 26 de junio). *Así quedó el tráiler y su carga en el túnel*. Recuperado de <https://notigram.com/durango-estado/nota-roja/asi-queda-el-trailer-y-su-carga-en-el-tunel-20230626-1026096>

UNE. (s.f.). *Norma N0056994*. Recuperado de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0056994>

Diario Oficial de la Federación. (2024, 5 de marzo). *Norma Oficial Mexicana*. Recuperado de https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5719215&fecha=05/03/2024#gsc.tab=0

Global Regulation. (s.f.). *People's Republic of China - Regulations on Implementation of the Law on Road Traffic Safety*. Recuperado de <https://www.global-regulation.com/translation/china/3024904/peoples-republic-of-china-regulations-on-implementation-of-the-law-on-road-traffic-safety.html>

AsianLII. (s.f.). *Regulations on Road Traffic Safety Law*. Recuperado de <http://www.asianlii.org/cn/legis/cen/laws/rtsl193/>

Diario Oficial de la Federación. (s.f.). *Norma Oficial Mexicana*. Recuperado de <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4228/stps/stps.htm>

PIARC. (2017). *Manual de túneles: Informe final*. Recuperado de https://tunnelsmanual.piarc.org/sites/tunnels-manual/files/public/wysiwyg/import/Chapters%20PIARC%20reports/2017R01ES_Chap%203.pdf

CETU. (s.f.). *Plan de gestión ambiental para túneles*. Recuperado de https://www.cetu.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/tunnels_master_folder_doc5_environment.pdf

CETU. (s.f.). *Túneles y su génie civil*. Recuperado de https://www.cetu.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/DP_genie_civil_section_1_cle5bb1b3-2.pdf

National Fire Protection Association (NFPA). (s.f.). *NFPA 92 Standard Development*. Recuperado de <https://www.nfpa.org/es/codes-and-standards/nfpa-92-standard-development/92>

National Fire Protection Association (NFPA). (2021). *NFPA 101 - Código de Seguridad Humana*. Recuperado de <https://www.nfpa.org/es/product/codigo-nfpa-101/p0101code/nfpa-101-c-digo-de-seguridad-humana-2021/10121e>

National Fire Protection Association (NFPA). (s.f.). *NFPA 502 Standard Development*. Recuperado de <https://www.nfpa.org/es/codes-and-standards/nfpa-502-standard-development/502>

Boletín Oficial del Estado. (2006). *Real Decreto 9296/2006*. Recuperado de <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2006-9296>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (s.f.). *Programa para la planificación y gestión del transporte de infraestructura vial en México*. Recuperado de <https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Programa para la planeaci%C3%B3n /7 PEITS informe ejecutivo v23.pdf>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (s.f.). *Lineamientos técnicos y operativos para túneles*. Recuperado de <https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Lineamientos t%C3%A9cnico %E2%80%93 operativos/9 ITS en T%C3%Baneles 3.4. Informe final.pdf>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (s.f.). *Manual de señalización y dispositivos para el control del tránsito en túneles*. Recuperado de <https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Manual de se%C3%B1alizaci%C3%B3n y dispositivos para el control de transito/Manual se%C3%B1alizacion.pdf>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2021, 21 de octubre). *Manual para la implementación de sistemas de transporte inteligentes (ITS)*. Recuperado de <https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/manual para la implementacion I TS/Manual ITS Definitivo 20211021 Versi%C3%B3n Impresi%C3%B3n.pdf>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2016). *Manual para proyectos de sistemas de transporte inteligentes (ITS) en Carreteras*. Recuperado de <https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Manuales-2016/manual-proyectos-ITS- Carreteras.pdf>

Instituto Mexicano del Transporte. (s.f.). *Normas del Instituto Mexicano del Transporte*. Recuperado de <https://normas.imt.mx/busqueda-desplegable.html#LEG>

AMITOS. (s.f.). *Asociación Mexicana de Ingenieros de Tráfico y Obras viales*. Recuperado de <https://www.amitos.org/>

PIARC. (s.f.). *Manual de túneles: Estrategia general y proyecto*. Recuperado de <https://tunnelsmanual.piarc.org/es/estrategia-general-y-proyecto/aspectos-generales>

Lania Visuals. (s.f.). *Aspa Flecha Carriles Habilitados*. Recuperado de <https://laniavisuals.com/aspa-flecha-carriles-habilitados/>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2022). *Encuesta Nacional de Victimización y Percepción sobre Seguridad Pública (ENVIPE)*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/enve/2022/>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (s.f.). *Accidentes de tránsito*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/temas/accidentes/#tabulados>

Nexos. (s.f.). *El estado de la seguridad en las Carreteras del país: una revisión*. Recuperado de <https://seguridad.nexos.com.mx/el-estado-de-la-seguridad-en-las-Carreteras-del-pais-una-revision/>

El Diario. (2024, 10 de febrero). *Sistemas inteligentes de transporte: claves para reducir la siniestralidad*. Recuperado de https://www.eldiario.es/motor/tecnologia/sistemas-inteligentes-transporte-claves-reducir-siniestralidad_1_11874736.html

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (s.f.). *Tabulados interactivos*. Recuperado de https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/interactivos/?px=ATUS_1&bd=ATUS&idrt=168&opc=t

PIARC. (s.f.). *Seguridad vial en contexto*. Recuperado de <https://roadsafety.piarc.org/es/perspectiva-estrategica-mundial-1-dimensiones-del-problema-de-la-seguridad-vial/la-seguridad-vial-en-contexto>

ACISA. (s.f.). *Sistemas ITS y ventilación en túneles Durango-Mazatlán*. Recuperado de <https://www.acisa.es/its/sistemas-its-ventilacion-tuneles-durango-mazatlan/#None>

Gobierno de México. (s.f.). *Accidentes de tránsito, un problema de salud pública*. Recuperado de <https://www.gob.mx/capufe/articulos/accidentes-de-transito-un-problema-de-salud-publica>

PIARC. (s.f.). *Aspectos generales de la estrategia para el proyecto de túneles*. Recuperado de <https://tunnelsmanual.piarc.org/es/estrategia-general-y-proyecto/aspectos-generales>

PIARC. (s.f.). *Sistemas de megafonía en túneles*. Recuperado de <https://tunnelsmanual.piarc.org/es/equipamiento-y-sistemas-comunicacion-con-el-usuario/sistemas-de-megafonia>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (s.f.). *Información sobre infraestructura vial*. Recuperado de <https://www.sct.gob.mx/index.php?id=5645>

Cámara de Diputados. (s.f.). *Ley General de Movilidad y Seguridad Vial (LGMSV)*. Recuperado de <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGMSV.pdf>

Servicio Meteorológico Nacional (SMN). (s.f.). *Resumen mensual de temperaturas y lluvias*. Recuperado de <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>