Apéndice 3.4 – EE.UU– Túnel de la SR-99 del Alaskan Way Viaduct (AWV) en Seattle

1. RESUMEN – TÚNEL DE LA SR-99 AWV

El túnel de la SR-99, AWV, está situado en Seattle, en una autopista urbana del estado de Washington, Estados Unidos. La ciudad de Seattle tiene una población de 700.000 habitantes mientras que el área metropolitana de Seattle/Tacoma/Bellevue tiene una población de 3.800.000 habitantes.

Figura 1- Túnel de la SR-99 y Elliott Bay

El túnel AWV tiene una longitud de 2,835 km. Está constituido por un túnel monotubo de dos niveles y por túneles artificiales entre pantallas en las entradas norte y sur y se prolonga hacia el sur con un nuevo tramo de 1,6 km cerca de los estadios de Seattle.

El proyecto del túnel cumple con las especificaciones técnicas de la 4ª edición del LRFD de la AASHTO de 2010 y con las cláusulas específicas del contrato. Su resistencia sísmica es conforme con la guía de la AASHTO "Especificación LRFD para el diseño sísmico de puentes” de 2009. La seguridad contra incendios y la concepción de la explotación son conformes a la NFPA 502, 2008. La construcción del túnel cumple con el Manual Técnico para el Diseño y Construcción de Túneles de Carretera de la AASHTO- Parte civil, 2010.

Figura 2 – Trazado del túnel de la SR-99

Figura 3 – Sección transversal

El túnel de la SR 99 está proyectado para resistir un terremoto que estadísticamente sólo se produce cada 2.500 años, lo que equivale aproximadamente a una magnitud 9 de la escala de Richter. En caso de aumento de nivel del mar por causa de un tsunami, se considera muy poco probable que una ola sobrepase el dique y llegue al túnel. El Departamento de Transporte del Estado de Washington (WSDOT) y la ciudad de Seattle han estimado que esto sólo podría ocurrir durante una marea muy alta, con una combinación de eventos que se estima ocurrirían una vez entre 6.000 y 24.000 años. La tecnología de alerta rápida del Estado de Washington permitiría limitar el impacto de los tsunamis. Si fuera necesario, los colectores y los sistemas de bombeo permitirían evacuar rápidamente el agua en el túnel

El equipamiento de seguridad del túnel hace que la SR 99 sea una infraestructura segura para los usuarios. El túnel ha sido proyectado para resistir terremotos, inundaciones y otras catástrofes. Dispone de sistemas de ventilación, de detección y extinción de incendios, de seguridad y de iluminación de última generación. Los elementos de seguridad incluyen: vías de evacuación, alimentación eléctrica de emergencia, ventilación, drenaje, intervención en caso de incidentes, sistemas de Gestión Técnica Centralizada, avisos de emergencia, detección y extinción de incendios.

El túnel dispone de un solo tubo, construido con una tuneladora por debajo del nivel freático. Las estructuras de los extremos se construyeron como túneles artificiales entre pantallas. El túnel perforado tiene un diámetro de 17,37 m. El túnel está sólo autorizado para los vehículos, no permitiéndose el paso de peatones, de bicicletas o de vehículos que transporten productos inflamables o peligrosos.

.

2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

2.1 GEOMETRÍA

El trazado en planta y las condiciones geológicas son bastante restrictivas. Además, debe tenerse en cuenta la presencia de conexiones en el extremo sur para el acceso al Puerto de Seattle y a los estadios. De sur a norte, el túnel desciende bajo la ciudad de Seattle hasta una profundidad de 67 m y asciende hasta el extremo norte, donde se encuentra la conexión con la red secundaria de carreteras.

Cada sentido de circulación tiene dos carriles de 3,35 m con un arcén de seguridad de 2,43 m y otro de 0,61 m. Las amplias curvas del trazado aseguran buenas distancias de visibilidad. Las vías de evacuación y las salidas de emergencia están situadas en el lado oeste y los arcenes de 0,61 m en el lado este.

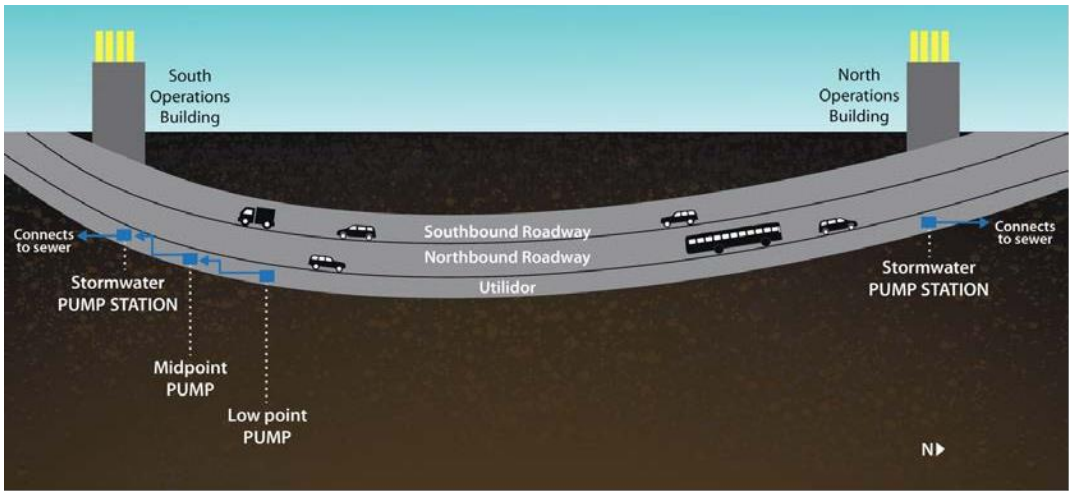


Figura 2- Perfil longitudinal del túnel

En la boca norte del túnel, el acceso al centro de la ciudad se realiza a través de ramales de entrada y salida cerca del centro de Seattle. Al sur, nuevos ramales de entrada y salida cerca de los estadios conectan la SR-99 con el bulevar frente al mar.

Figura 3 – Accesos Norte y Sur del túnel y conexiones

2.2 SECCIÓN TRANSVERSAL

2.2.1 Túnel de carretera

El túnel tiene dos niveles de calzadas que funcionan con tráfico unidireccional. La calzada superior lleva el tráfico en dirección sur y la calzada inferior lo hace en dirección norte. Cada calzada tiene dos carriles de circulación de 3,35 m de ancho y un arcén de 2,43m de ancho. En el nivel inferior, el arcén está a la derecha del carril lento y en el nivel superior el arcén está a la izquierda del carril rápido. El gálibo del nivel inferior es de 4,85m y el del nivel superior es de 6,0 m.

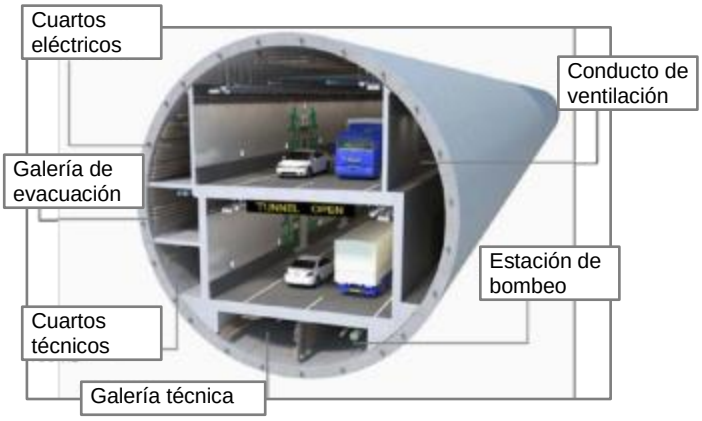


Figura 4 – Sección transversal

La Figura 6 muestra la disposición general de la sección transversal: la zona disponible para la circulación, los conductos de ventilación, la galería técnica de servicios, los cuartos técnicos y eléctricos, la galería de evacuación y las estaciones de bombeo.

Los techos y los hastiales están recubiertos con una protección térmica proyectada del tipo “Grace Monokote”.

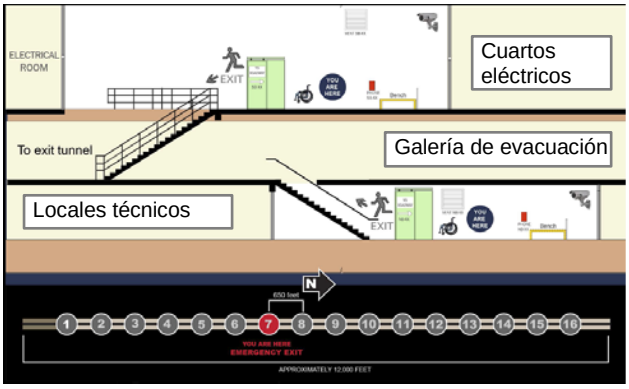
2.2.2 Dispositivos de seguridad y de evacuación

❑ Galería de evacuación – refugios

El túnel dispone de una galería de evacuación en caso de incendio. Discurre paralela a las calzadas y está equipada con sistemas independientes de ventilación y control de incendios. La galería está separada de las calzadas del túnel por muros de hormigón y existen salidas de emergencia con acceso a ésta cada 198 m.

En caso de incendio, los usuarios caminarán por el arcén hasta la salida de emergencia y los refugios que conectan con la galería de evacuación y con la calzada del túnel que no está afectada por el incendio.

Las personas con movilidad reducida (PMR) pueden usar los refugios situados al pie o en la parte superior de las escaleras de acceso a la galería de evacuación. Los refugios están ventilados, disponen de videovigilancia a través de circuito cerrado de televisión, están equipados con teléfono y están conectados al Centro de Control. Las PMR permanecen seguras en los refugios y serán rescatadas por el personal de emergencia.



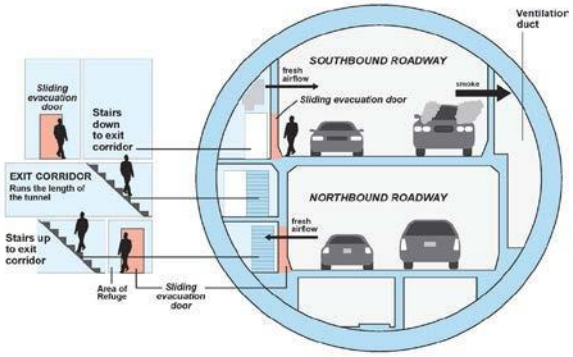


Figura 5 – Galería de evacuación y salidas de emergencia

❑ Dispositivos de seguridad contra incendios

Los principales dispositivos de seguridad contra incendios son los siguientes: (a) salidas de emergencia cada 198 m - (b) compuertas de extracción de humos motorizadas y controladas a distancia cada 33 m (6 compuertas abiertas) - (c) ventilador de extracción de humos de 283 m3/s en las bocas del túnel - (d) sistema de rociadores con un caudal de 13 mm/min.

El túnel también está equipado con extintores, tuberías de agua contra incendios e hidrantes

2.3 CONDICIONES DE TRÁFICO – AVERÍAS E INCIDENTES

2.3.1 Condiciones de tráfico

El límite de velocidad en el túnel es de 72 km/h, estando controlada mediante los radares fijos tanto en el túnel como en los accesos y en los ramales de las conexiones. Antes de entrar en el túnel, los usuarios pueden obtener información gratuita sobre el estado del tráfico a través de sus teléfonos móviles.

2.3.2 Gestión de incidentes

El control del tráfico en tiempo real reduce las consecuencias de las colisiones, de los vehículos parados y de otras interrupciones en el túnel. En caso de colisión, los sistemas de detección de incidentes permiten al explotador detectar el incidente e intervenir con gran rapidez. En caso de bloqueo de un carril, la señalización variable permite cerrar éste rápidamente y las señales de limitación de velocidad permiten optimizar la circulación en el carril que permanece abierto. A partir de ese momento, los vehículos de intervención entran en el túnel y retiran los vehículos inmovilizados.

2.4 SEÑALIZACIÓN

El principal equipamiento de señalización es el siguiente:

- (a) señalización de las conexiones en cada boca mediante paneles con iluminación exterior, (b) paneles con iluminación interna, (c) paneles LED o de fibra óptica (d) luces intermitentes (e) señales aspa/flecha cada 198 m.
- (f) tres paneles de mensaje variable en cada acceso (dos paneles de aviso de cierre del túnel y un panel de señal de salida) - g) paneles de cierre del túnel y semáforos en cada boca.
- Señales aspa/flecha espaciadas cada 198 m.

El túnel está equipado con sistemas de aforo de tráfico y de videovigilancia con funciones DAI, que se distribuyen a lo largo del túnel.

Figura 6 – Imagen virtual de la calzada con los paneles de mensaje variable

3. VENTILACIÓN

3.1 CONCEPTO DE LA VENTILACIÓN

El sistema de ventilación del túnel es del tipo "semitransversal" con extracción puntual. El aire fresco se suministra por ventilación longitudinal mediante ventiladores de chorro.

En caso de incendio, el sistema de ventilación está diseñado para evitar que el humo se propague al espacio de circulación. Por tanto, el flujo de aire se mantiene en el sentido de la circulación para evitar el retroceso del humo aguas arriba del foco de incendio. La extracción de humos se realiza a través de la compuerta de extracción más cercana al fuego.

La ventilación de la galería de evacuación y de los refugios es totalmente independiente.

La ventilación del túnel está diseñada considerando una potencia de incendio de 100 MW, el uso de un sistema de diluvio y la existencia de una protección pasiva en el techo y en los hastiales.

La detección de incendios se realiza mediante un cable de detección de temperatura y un circuito cerrado de televisión. En caso de incendio, el humo sale cerca de las bocas a través de chimeneas de 24 m de altura (Figura 9 en amarillo).

3.2 INSTALACIÓN DE VENTILACIÓN

El sistema de ventilación incluye:

- 8 ventiladores centrífugos de extracción de humos situados en los dos edificios de explotación (cuatro ventiladores por cada edificio). Cada ventilador tiene la capacidad de extraer entre 3.823 y 5.097 m³/min. El sistema de ventilación del túnel está diseñado para una extracción total de unos 660 m³/s.

Figura 7 – Edificio Sur de explotación – dos de los cuatro ventiladores de extracción.

- 4 ventiladores de suministro de aire fresco para la galería de evacuación, las salas eléctricas y los locales técnicos. Estos ventiladores se encuentran en los edificios de explotación.
- 17 ventiladores de chorro cerca de las bocas para introducir aire fresco en el túnel.

Figura 8 – Ventiladores de chorro situados en las bocas del túnel.

El túnel está equipado con 10 estaciones de medición y de control de la calidad del aire mediante sensores de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y partículas.

La ventilación se gestiona automáticamente con la posibilidad de control manual.

Los aceleradores se activan de forma preventiva en caso de atasco en cuanto la velocidad del vehículo es inferior a 32 km/h o en caso de emergencia. Los extractores se activan de forma preventiva durante los periodos de atasco o cuando la velocidad de los vehículos es inferior a 8 km/h.

El conducto de extracción de humos está situado a lo largo del túnel en el lado este y está equipado con compuertas de extracción cada 33 m. Está previsto que cuando se produzca un incendio tenga lugar la apertura de seis compuertas en la zona afectada.

Los ventiladores de chorro que suministran el aire al túnel están instalados en las bocas de entrada y salida.

Hay cuatro ventiladores que suministran aire a los locales técnicos, a la galería de evacuación, a las salas eléctricas y a otras salas auxiliares.

3.3 MEDIO AMBIENTE – CALIDAD DEL AIRE

La monitorización y vigilancia de los contenidos de CO y NOx se realiza en las bocas del túnel y en 10 lugares en su interior para cumplir con las normas nacionales de calidad del aire ambiente.

4. EQUIPAMIENTO PARA LA EXPLOTACIÓN

El túnel SR99 AWV está dotado con todo el equipamiento habitual para la explotación y la seguridad, por lo que hay pocas cuestiones específicas pare este túnel.

4.1 SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

❑ Alimentación normal

Las bocas norte y sur del túnel se alimentan de subestaciones eléctricas externas independientes y el sistema de control del túnel permite cambiar de una subestación a otra si es necesario.

La distribución eléctrica en el túnel se realiza desde 16 subestaciones con sistema redundante.

❑ Alimentación de emergencia

En caso de interrupción del suministro externo, el túnel dispone de un sistema de suministro de energía autónomo por medio de dos grupos electrógenos y de un conjunto de SAI (sistema de baterías de alimentación ininterrumpida).

4.2 ALUMBRADO

Las luminarias del túnel SR-99 están equipadas con tecnología LED. El alumbrado de emergencia se alimenta de ambos grupos electrógenos. La señalización luminosa de las salidas de emergencia parpadea en caso de evacuación.

4.3 SUMINISTRO DE AGUA – SISTEMA DE DRENAJE – EQUIPAMIENTO DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

El túnel está equipado con un sistema fijo de extinción de incendios, con una capacidad de 14,0 l/s por zona de detección y de extinción. El túnel dispone de un total de 208 zonas de extinción y de 1700 rociadores.

Las tuberías de incendios son secas y están conectadas al sistema de distribución de agua de la ciudad de Seattle. El Departamento de Bomberos de la Ciudad de Seattle es responsable de la lucha contra el fuego.

El túnel cuenta con cuatro estaciones de bombeo: una estación en el punto bajo, otra en el nivel intermedio y otras dos de bombeo de las aguas pluviales en cada boca del túnel, diseñadas para limitar la cantidad de agua de lluvia que fluye hacia el túnel. Las aguas recogidas son tratadas antes de su vertido al sistema de alcantarillado.

5. CENTRO DE CONTROL Y EXPLOTACIÓN

❑ Centro de Control

El túnel cuenta con un Centro de Control operativo las 24 horas del día que permite dar una respuesta rápida a las condiciones cambiantes del tráfico y a las emergencias. Los sistemas de supervisión proporcionan información en tiempo real a los operadores del WSDOT (Departamento de Transporte del Estado de Washington), que tiene a su cargo la explotación del túnel. El Centro de Control tiene líneas de comunicación directas con el Departamento de Bomberos de Seattle, el Departamento de Policía y otros servicios de emergencia.

El Centro de Control del túnel SR-99 AWV está situado en el Centro de Control central situado en el centro de explotación del WSDOT noroeste. Hay 34 operadores a tiempo completo para la explotación del túnel.

El Centro de Control del túnel SR-99 incluye una sala de control equipada con una pared de vídeos (videowall) que muestran el trazado del túnel y las imágenes del circuito cerrado de televisión del interior del túnel y de las zonas adyacentes. Toda la información de los equipamientos del túnel se recibe y procesa en el Centro de Control central a través del sistema de Gestión Técnica Centralizada del túnel.

Figura 9 – Centro de gestión del tráfico de la región noroeste del WSDOT

❑ Equipamiento de seguridad

- Salidas de emergencia hacia la galería de evacuación y refugios situados cada 198m. Las puertas están iluminadas con luces intermitentes.
- Extintores de incendio portátiles y teléfonos SOS en cada salida de emergencia con conexión directa al 911 (departamento de policía).
- Pictogramas en los hastiales del túnel (con símbolo de una persona corriendo) indicando la distancia hasta la salida.
- Señales de mensajería variable espaciadas aproximadamente 99m.
- Red de cámaras dotadas con sistema DAI (detección automática de incidentes): vehículos parados, vehículos en sentido contrario, peatones, escombros, humo…
- Sistema lineal de detección de temperatura con sistema fijo de extinción – rociadores que actúan automática o manualmente.
- Sistema de retransmisión de radio AM/FM y sistema de megafonía

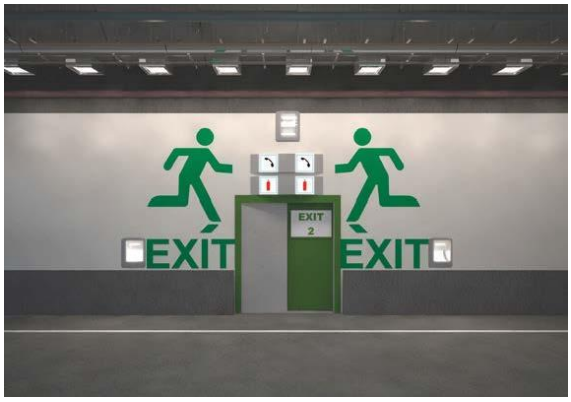


Figura 10 – Salidas de emergencia a la galería de evacuación.

❑ Sistema Inteligentes de Transporte

Los Sistemas Inteligentes de Transporte y la comunicación con los usuarios se proporcionan a través del sistema de control y supervisión del túnel que interactúa con otros sistemas, tales como la gestión del mantenimiento, el control de incendios, la seguridad y los teléfonos de emergencia.

❑ Gestión del tráfico

El tráfico de mercancías peligrosas e inflamables no está permitido en el túnel. Las intervenciones de mantenimiento se realizan durante las horas de menor tráfico y para poder llevarlas a cabo, los agentes del WSDOT controlan las condiciones o restricciones de la circulación.

- **Detección de incendio – instalación de lucha contra incendios – intervención en caso de incendio.**

El túnel está dividido en 208 zonas de detección y de extinción de incendio. La respuesta a un incendio puede ser tanto automática como manual:

- Respuesta automática: Los detectores de temperatura ubicados sobre la calzada activan una alarma al sistema de control del túnel, que a su vez activa el sistema de diluvio, la ventilación y la mensajería en la zona afectada.
- Respuesta manual remota: si un operador detecta un incendio (a través del CCTV o de la DAI) puede activar las mismas operaciones que el sistema de control del túnel. Hay más de 70 cámaras de detección de incidentes.

El Departamento de Bomberos de Seattle es responsable de la lucha contra incendios en coordinación con el explotador y los servicios de rescate.

En caso de incendio, los rociadores del sistema fijo de extinción proporcionan una ayuda al cuerpo de bomberos para combatir el fuego y reducir el nivel de temperatura, mientras que los sistemas de ventilación realizan la extracción de humo. El túnel está equipado con cámaras que pueden utilizarse para comprobar la localización exacta del incendio.