



Seminario Internacional OPERACION Y SEGURIDAD EN TUNELES CARRETEROS NUEVOS Y EXISTENTES

Aplicación de Nuevos Criterios de Seguridad en Túneles en Sudamérica (Application of New Tunnel Safety Criteria to Tunnels in South America)

Martin Böfer, Geoconsult Latinoamérica (Chile) Ltda.
José D. Cañas 2640; Ñuñoa, Santiago - CHILE
Te. : +56 2 640 6643; e-mail: office@geoconsult.cl



Aplicación de nuevos criterios de seguridad en túneles en Sudamérica



SEMINARIO INTERNACIONAL OPERACIÓN Y SEGURIDAD EN TÚNELES CARRETEROS NUEVO Y EXISTENTES



Túneles viales, grandes desafíos que se hacen más inminentes en la Región

Desde mediados de los años 90 se ha comenzado a dar pasos más y más concretos en término de análisis de factibilidad y anteproyectos de conexiones internacionales entre Argentina y Chile, todas ellas teniendo como pieza central la construcción de un túnel de “baja altura”, el que se convirtió en el sinónimo de la solución de los actuales problemas de capacidad, confort y seguridad de tránsito, que se van acentuando año tras año.

Situaciones similares se viven en otros países y conexiones internacionales en Sudamérica, tal como lo es el caso de Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Chile y Argentina, al ser todos países que comparten la accidentada morfología determinada por la cordillera de Los Andes y los plegamientos precordilleranos asociados.

Transcurridos ya más de 10 años y con mucho más información sobre la materia, se ha comprendido que cualquier proyecto de túnel vial interurbano en esta región no es de solución simple, ni de costo bajo. Después de un escepticismo pronunciado frente a los resultados de los estudios de prefactibilidad, básicamente con relación a la envergadura de los costos resultantes, la conciencia sobre una realidad ineludible ha vuelto a despertar la motivación y responsabilidad de las autoridades de regiones y países, como también a iniciativas privadas, de afrontar estos temas y de llevarlos adelante.

Con esta presentación se ilustran los resultados de anteproyectos y proyectos de ejecución de túneles sobre 3 corredores viales, los que de alguna manera pueden ser considerados representativos de otros proyectos semejantes que se irán implementando en el futuro en la región. Sobre la base del análisis de las características de las obras ya diseñadas y los recientes requerimientos de normas internacionales de diseño de túneles, básicamente focalizados en aspectos de seguridad, se pretende contribuir a la comprensión de dónde están los reales desafíos en el diseño de túneles viales que puedan satisfacer las demandas vigentes.

Del análisis efectuado se concluye que la búsqueda de alternativas de obras muy económicas se ve condicionada, no sólo por limitantes físicas, que requieren una envergadura mínima en término de condiciones geométricas de los túneles, sino también por aspectos de seguridad, los que demandan la toma de responsabilidad por parte de Mandantes y Projectistas.

Por lo tanto, es prudente invertir suficiente en la concepción y estrategia de diseño y construcción, tomando todos los recaudos tempranamente y difiriendo aspectos, siempre que sea justificable.

Contenido de la Presentación

1. Características del tránsito en caminos troncales en Sudamérica y de proyectos de túneles o túneles existentes asociados

Caso 1a - Camino Mendoza - Los Andes; Túnel Juan Pablo II

Caso 1b - Alternativa San Rafael - Rancagua; Túnel Las Leñas

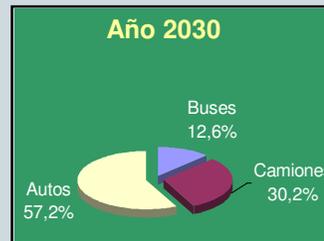
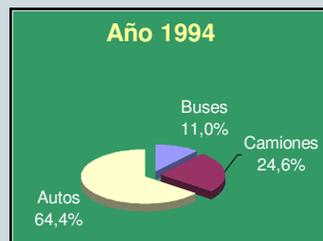
Caso 2 - Camino Bogotá - Buenaventura, Colombia; Túnel La Línea

Caso 3 - Camino La Pálvora, Chile; Túnel 1 a puerto Valparaíso

2. Análisis de los túneles descritos con relación al cumplimiento de requerimientos mínimos de normas internacionales actuales (EU, PIARC, etc.) y conclusiones para diseño de nuevos túneles

**Caso 1 - Camino Internacional Mendoza - Los Andes
(Representativo para cruces fronterizos)**

**Composición del tránsito internacional Argentina - Chile
(Según estudio Prefactibilidad Túnel Baja Altura JP II - 1995)**

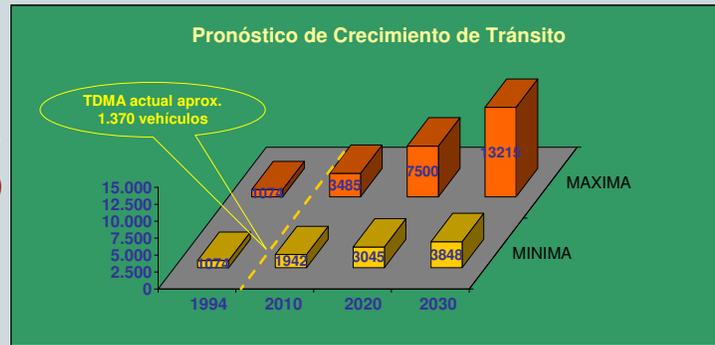


Composición del tránsito en Túnel Cristo Redentor

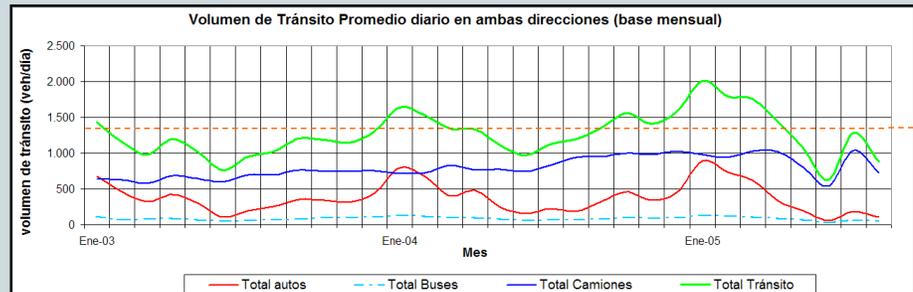


Caso 1 - Camino Internacional Mendoza - Los Andes
(Mediciones años 2003 - 2005)

Crecimiento del Tránsito
(según estudios de 1995)

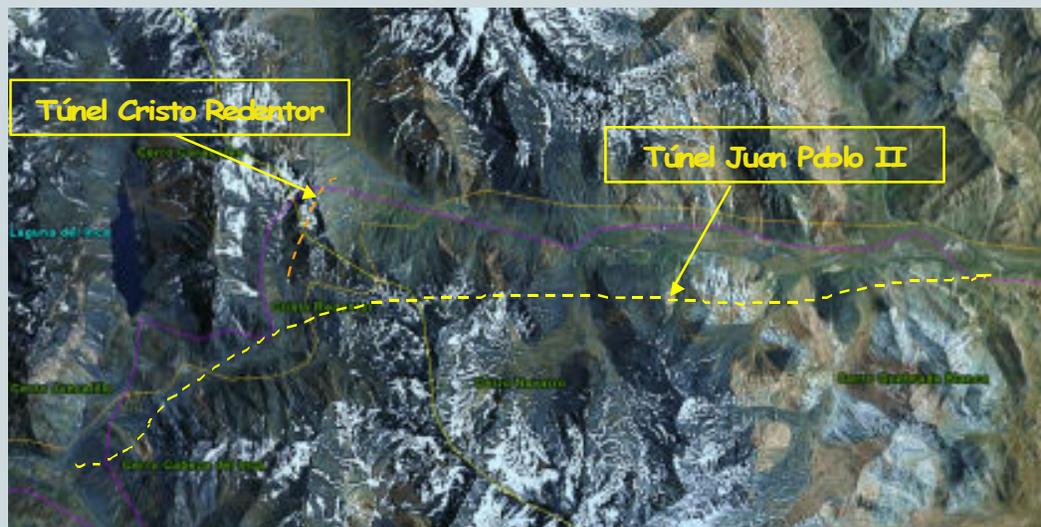


Volumen de Tránsito
(actual)



1. Características del tránsito en caminos troncales y de proyectos de túneles

Caso 1 - Camino Internacional Mendoza - Los Andes

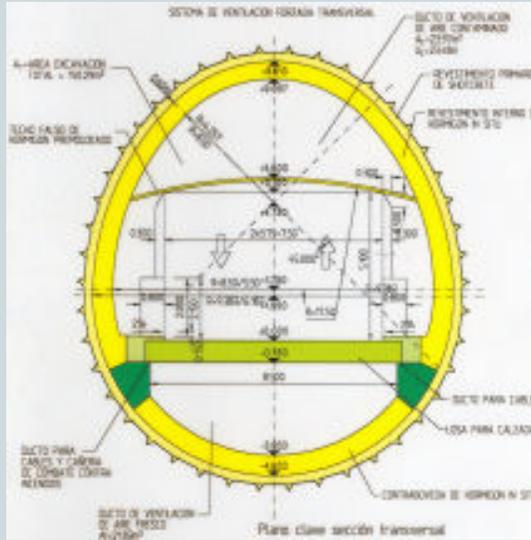


Túnel Juan Pablo II - Sobre Paso Cristo Redentor
(Proyecto desarrollado en 1995 por Consorcio Geoconsult, Hytsa, R&Q Ingeniería Ltda.)

1. Características del tránsito en caminos troncales y de proyectos de túneles

Caso 1 - Camino Internacional Mendoza - Los Andes

Túnel Vial Juan Pablo II - Alt. 1



- Túnel de 1 tubo de tránsito bidireccional, sin vías de escape; L = 26 km
- Sección transversal excavación aprox. 150 m²
- Ventilación transversal
ductos aire: ingreso 22 m² / extracción 24 m²
3 a 7 chimeneas ventilación, dia. 11,7 m
110 m³/s.km, (con reserva 150 m³/s.km)
potencia de los 16 ventiladores: 21 MWatt
- Ancho calzada >7,50 m (posible hasta 9,0 m)
- Pendiente long. 1,72% (>2% imposible ventil.)
- Revestimiento de hormigón colado, con membrana de impermeabilización
- Instalaciones de seguridad (bahías de estacionamiento y giro, teléfonos de emergencia, hidrantes, CCTV, etc.)

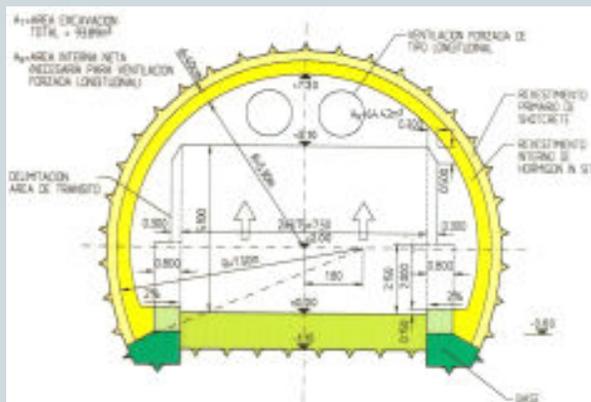
Esta Alternativa NO fue recomendada, básicamente por falta de seguridad

1. Características del tránsito en caminos troncales y de proyectos de túneles

7

Caso 1 - Camino Internacional Mendoza - Los Andes

Túnel Vial Juan Pablo II - Alt. 2



- Túnel de 2 tubos de tránsito unidireccional, L = 26 km
 - Sección excavación 94 - 105 m²
 - Ventilación longitudinal
área libre 65 m²
3 a 7 chimeneas ventilación, dia. 11,7m
110 m³/s.km, (c/reserva 150m³/s.km)
potencia aceleradores: 8,6 MWatt
potencia ventiladores: 9,3 MWatt
 - Ancho calzada >7,50m (hasta 8,5 m)
 - Pendiente long. 1,72 %
 - Revestimiento de hormigón colado, con membrana de impermeabilización
 - Galerías de conexión peatonales y vehiculares entre túneles cada 1000 m
- Instalaciones de seguridad (bahías de estacionamiento y giro c/1000 m, teléfonos de emergencia, hidrantes, CCTV, etc.)

Esta Alternativa SI fue recomendada, por proveer más seguridad

1. Características del tránsito en caminos troncales y de proyectos de túneles

8

Caso 1 - Alternativa Conexión San Rafael - Rancagua



Túnel Las Leñas - Alternativa a Túnel Juan Pablo II

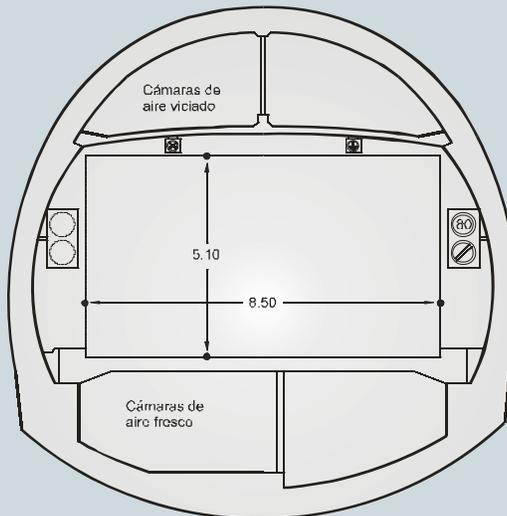
(Proyecto desarrollado en 1998 por Consorcio Scetauroute, Geotécnica, Grimaux, Varde)

1. Características del tránsito en caminos troncales y de proyectos de túneles

9

Caso 1 - Alternativa Conexión San Rafael - Rancagua

Túnel Vial Las Leñas



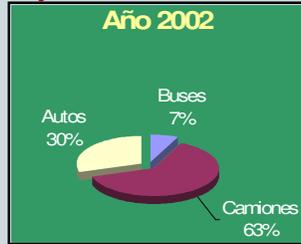
- Túnel de 1 tubo de tránsito bidireccional, sin vías de escape, con refugios; L = 13,26 km
- Sección transversal excavación > 150 m²
- Ventilación transversal ductos aire, ingreso inferior / extracción supr. sin chimeneas, con estación de filtros 100 m³/s.km, (reserva: chimenea / filtros)
- Ancho calzada 8,50 m
- Pendiente long. 1,66 %
- Revestimiento de hormigón colado, con membrana de impermeabilización
- Instalaciones de seguridad (bahías de estacionamiento c/800 m, estocadas p/giro, refugios de emergencia c/800 m, teléfonos de emergencia, hidrantes, CCTV, etc.)

1. Características del tránsito en caminos troncales y de proyectos de túneles

10

Caso 2 - Camino Bogotá - Buenaventura (Colombia)
(Proyecto Túnel La Línea)

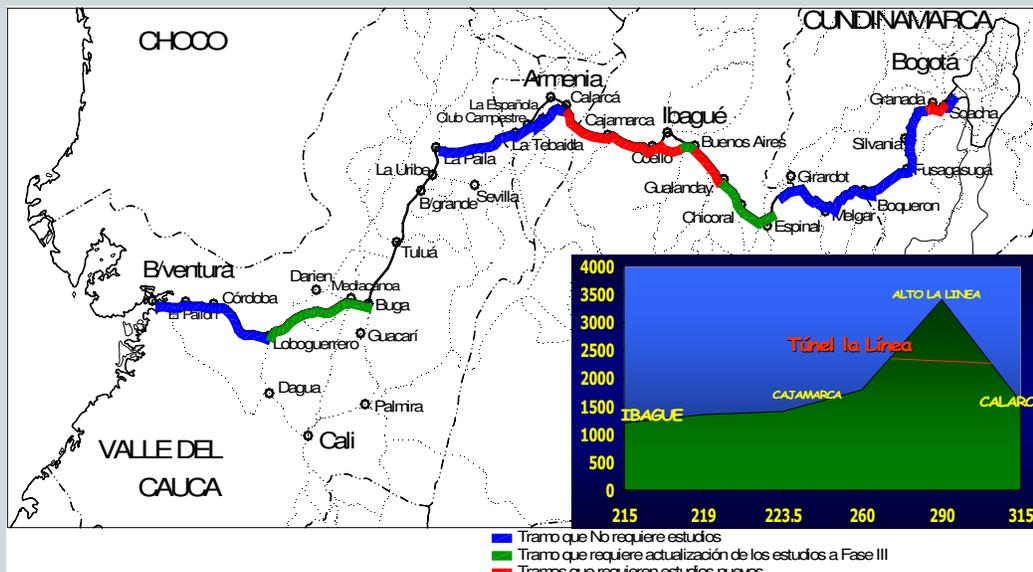
Composición del tránsito



Crecimiento del Tránsito (según estudios de 2000)



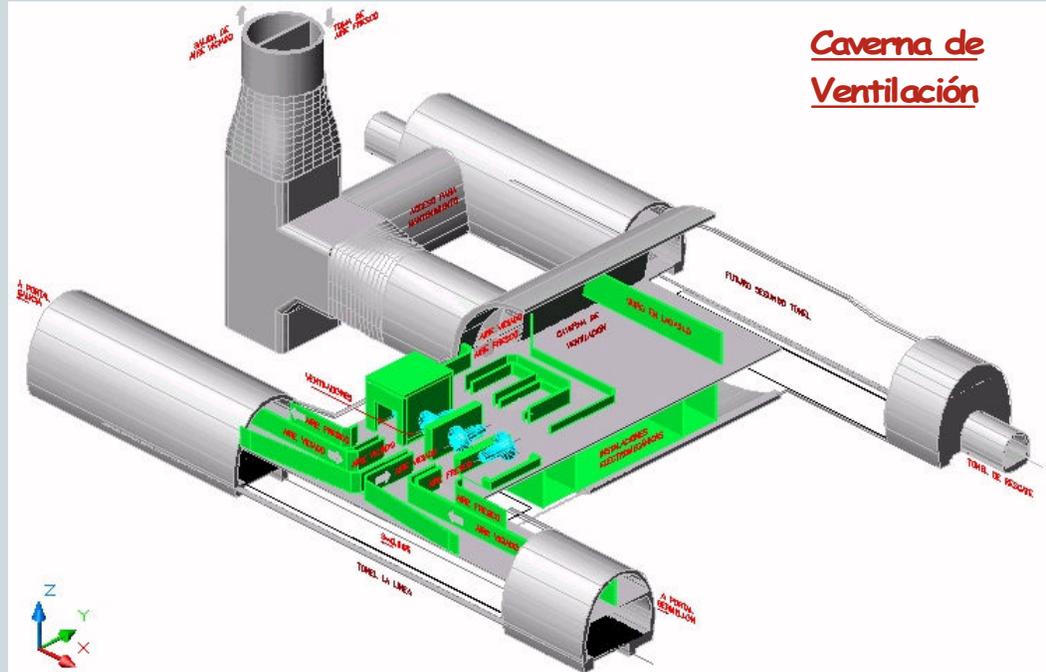
Caso 2 - Camino Bogotá - Buenaventura (Colombia)



Túnel La Línea - Paso de la Línea entre Ibagué y Armenia

(Año 2000 - Proyecto por Consultoría Colombiana / Gomez Cajiao / Estudios Técnicos, con asesoría Geoconsult)

Caso 2 - Camino Ibagué - Armenia, Túnel La Línea



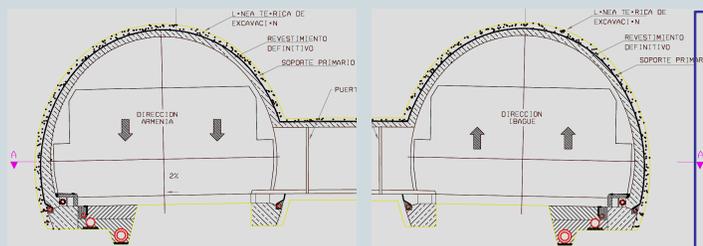
Caverna de Ventilación

1. Características del tránsito en caminos troncales y de proyectos de túneles

Caso 2 - Camino Ibagué - Armenia, Túnel La Línea

Túnel Vial Unidireccional - Alternativa B

Ventilación longitudinal



- Área libre p/ventilación 56,5 m²
- 2 chimeneas para ventilación 8,5m dia, profundidad 450-500 m
- 2 cavernas de ventilación con 2 ventiladores cada una
- 3 secciones ventilación L=2,8-3km 18 aceleradores dia 1,25 m
- Aire fresco 100/70 m³/s.km
- Potencia instalada 3,4 MWatt

- 2 Túneles de tránsito unidireccional, L = 8,6 km, con galerías de conexión peatonales cada 500 m
- Sección transversal excavación 90/110 m²
- Ancho calzada 8,0 m
- Pendiente long. 1,1%
- Revestimiento de hormigón colado, con membrana de impermeabilización
- Instalaciones de seguridad (bahías de estacionamiento y giro, 2 galerías de conexión vehiculares, teléfonos de emergencia, hidrantes, CCTV, etc.)

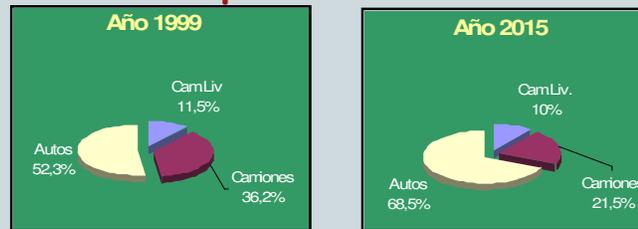
Esta Alternativa no fue la recomendada, si bien no quedó completamente descartada

1. Características del tránsito en caminos troncales y de proyectos de túneles

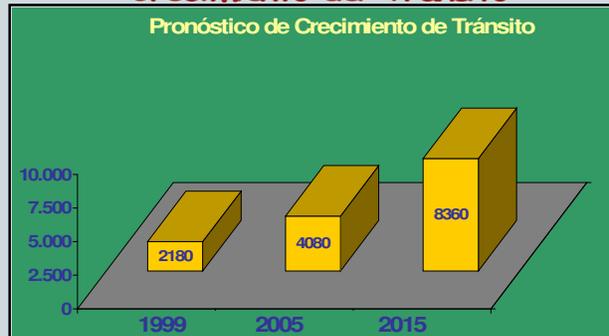
Caso 3 - Camino La Pólvara - Valparaíso (Chile)

(Preponderantemente tránsito de carga a/desde puerto)

Composición del tránsito



Crecimiento del Tránsito

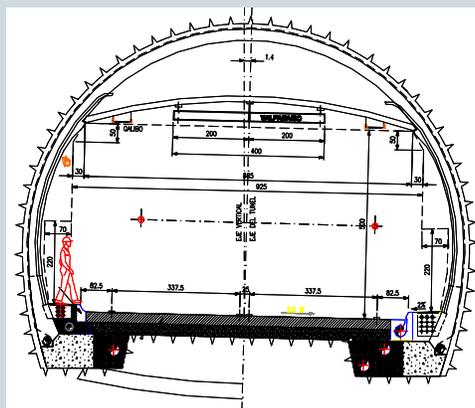


1. Características del tránsito en caminos troncales y de proyectos de túneles

17

Caso 3 - Túnel T1 - Camino La Pólvara

Túnel Vial Bidireccional con Ventilación longitudinal y ducto extracción



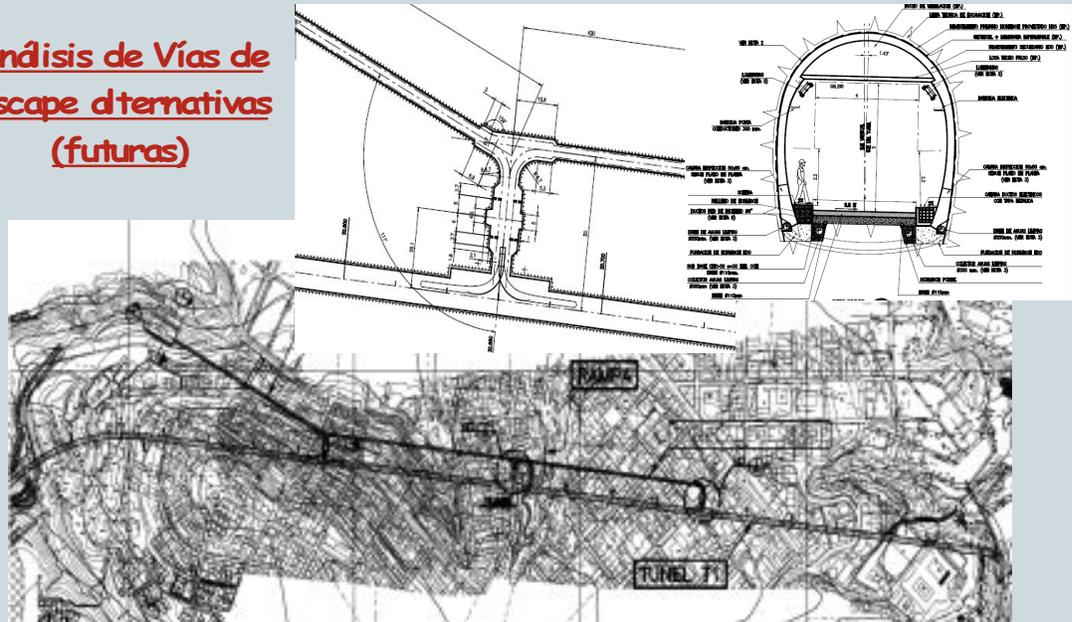
- Túnel de 1 tubo de tránsito bidireccional, $L = 2,27$ km
- Sección transversal excavación 90/115 m²
- Ancho calzada 8,6 m
- Pendiente long. 2,1 %
- Ventilación para operación, longitudinal (Requerimiento determinante: incendio)
 - 3 x 2 aceleradores de 30 kW portal entrada
 - 2 x 3 aceleradores de 40 kW portal salida
- Ventilación extracción humos: 2x80 m³/s
 - 2 ventiladores axiales 116 / 84 kW
- Revestimiento de hormigón colado, con membrana de impermeabilización (a largo plazo resultó sólo 2% más caro que revestimiento de Shotcrete)
- Instalaciones de seguridad (bahías de estacionamiento alternadas aprox. c/500 m, una galería de escape, teléfonos de emergencia, hidrantes, CCTV, etc.)

1. Características del tránsito en caminos troncales y de proyectos de túneles

18

Caso 3 - Túnel T1 - Camino La Pólvara

Análisis de Vías de Escape Alternativas (futuras)



1. Características del tránsito en caminos troncales y de proyectos de túneles

19

Análisis de los casos vistos con relación a los Requerimientos de Seguridad de la Directiva del Consejo de la Unión Europea - Abril 2004 (Apoyado de las recomendaciones del Working Group 6 de la PIARC)

1. **Requerimientos relacionados con la estructura de la obra**
 - a) Geometría y concepción
 - b) Apoyo a la operación
 - c) Instalaciones de emergencia
2. **Requerimientos relacionados con el equipamiento**
 - a) Intervención sobre la atmósfera del túnel
 - b) Equipamiento de emergencia
 - c) Apoyo a la operación y manejo de tránsito
3. **Requerimientos durante mantenimiento, operación e imposición**
 - a) Planeamiento
 - b) Instalaciones para la operación
 - c) Criterios de operación
 - d) Recursos de emergencia
 - e) Imposición

2. Análisis de casos vistos con respecto a normas y recomendaciones para diseño

20

Criterio de valoración de Instalaciones y Medidas de Seguridad, sobre la base de la Norma Austríaca RVS 9.232

Determinación de la Categoría de Riesgo de un Túnel

Función del volumen de tránsito, del modo de operación (bi- o unidireccional), de posibles puntos de conflicto dentro del túnel o portales y de la circulación de vehículos de carga peligrosa; se calcula a través del "potencial de riesgo" G :

$$G \text{ (potencial de riesgo)} = MSV * g_R * g_K * g_G$$

MSV: volumen horario determinante (hora 30 en todo el año; camiones con factor 2,5)

g_R: factor direccionalidad: 1 (unidireccional), 1,5 (unidireccional sin separación), 2 (bidireccional)

g_K: factor de puntos de conflicto: entre 1 y 2, según el tipo de conflicto posible

g_G: factor de carga peligrosa; entre 1 y 2, según sean < 10 ó > 50 vehículos por día

▶ Categoría de Riesgo I: ($G < 1.000$)	túneles con bajo volumen de tránsito
▶ Categoría de Riesgo II: ($1.001 < G < 2.500$)	túneles bidireccionales con volumen de tránsito moderado o unidireccionales con alto tránsito
▶ Categoría de Riesgo III: ($2.500 < G < 10.000$)	túneles con alto volumen de tránsito y factores de riesgo adicionales
▶ Categoría de Riesgo IV: ($G > 10.000$)	túneles con alto volumen de tránsito y factores de riesgo adicionales

Cálculo de Potencial de Riesgo de los Casos Analizados

$$G \text{ (potencial de riesgo)} = MSV * g_R * g_K * g_G$$

MSV: volumen horario determinante (hora 30 en todo el año; camiones con factor 2,5)

g_R: factor direccionalidad: 1 (unidireccional), 1,5 (unidireccional sin separación), 2 (bidireccional)

g_K: factor de puntos de conflicto: entre 1 y 2, según el tipo de conflicto posible

g_G: factor de carga peligrosa; entre 1 y 2, según sean < 10 ó > 50 vehículos por día

Caso	Escenario	MSV	g _R	g _K	g _G	G	Categoría Riesgo
Camino Mendoza - Los Andes / Rancagua (túneles JPII / Las Leñas)	Mejor	500 (actual)	1 / 2 (uni/bi)	1	1	500 / 1000	I / I-II
	Peor	1.150 (15 años)	1 / 2 (uni/bi)	1	2	2.300 / 4.600	II / III
Camino Bogotá - Buenaventura (Túnel La Línea)	Mejor	2.350 (actual)	1 (unidir.)	1	1	2.350	II
	Peor	2.500 (15 años)	2 (bidir.)	1	2	10.000	IV
Camino La Pólvara (Túnel T1)	Situación futura	1.700 (2015)	2 (bidir.)	1,2	1,5	6.120	III

Cálculo del Coeficiente de Seguridad del Túnel (según Norma Austríaca RVS 9.232)

Función del concepto de extracción de humos (ventilación), de la provisión de vías de evacuación y de componentes de operación; se calcula con el "factor de seguridad" S:

$$S \text{ (coeficiente de seguridad)} = SR * SW * SB$$

SR (extracción humos) $R_Q + R_A$: R_Q comp. sección transv. (H/5; H= altura libre túnel)

R_A comp. extracción ($R_{Ap} = 800/a$; a= dist. pto extracción; Vent. Long)
($R_{AV} = 1+V/80$; V= vol. extracc. m³/s; Vent. Transv)

SW (distancia escape) $W_F + W_E$: W_F comp. escape. ($W_F = 2 - F$; F= distancia escape en km)

W_E comp. rescate ($W_E = 1,5 - 0,1 * L$; L = distancia rescate dentro túnel)

SB (operación) $1 + \sum B_{Ti}$: B_{Ti} componentes de operación

Requerimiento de Seguridad

▶ Categoría de Riesgo I:	$S \geq 1$
▶ Categoría de Riesgo II:	$S \geq 5$
▶ Categoría de Riesgo III:	$S \geq 10$
▶ Categoría de Riesgo IV:	$S \geq 15$

Componente B_{Ti}	Componente B_{Ti}
Central control = 2	Guía Carga Peligrosa = 0,5
Sitio supervisión = 0,5	Brig. c/Incendio en c/portal = 1
Transmisión Video = 0,5	Detecc. Autom Incendio = 1
Reconoc. Autom Congestión = 0,5	Reconoc. fuego lento = 0,5
Reconoc. Autom Carga Peligr = 1	Radio c/acceso a usuarios = 0,5

Cálculo del Coeficiente de Seguridad de los Casos Analizados

$$S \text{ (coeficiente de seguridad)} = SR * SW * SB$$

SR (extracción humos) $R_Q + R_A$ SW (distancia escape) $W_F + W_E$ SB (operación) $1 + \sum B_{Ti}$

Caso	Esc.	SR	SW	SB	S	Cumple
Camino Mendoza - Los Andes / Rancagua JPII Las Leñas (c/refugios esc.)	Unidirecc.	1,46+0,24	1,0+1,4	5	11,9	($S > 5$) SI
	Bidrecc.	1,1+2	(-11)+0,2 1,2+1,42	5	3,1 40	($S > 10$) NO ($S > 10$) SI
Camino Bogotá - Buenaventura (Túnel La Línea)	Unidirecc.	1,4+0,53	1,5+1,45	5	14	($S > 15$) casi
	Bidrecc.	1+2	1,5+1,45	5	44	($S > 15$) SI
Camino La Pólvara - T1	Bidrecc.	1,1+3	0+1,3	5	26,6	($S > 15$) SI

Requerimiento de Seguridad

▶ Categoría de Riesgo I:	$S \geq 1$
▶ Categoría de Riesgo II:	$S \geq 5$
▶ Categoría de Riesgo III:	$S \geq 10$
▶ Categoría de Riesgo IV:	$S \geq 15$

Componentes asumidas	Componentes asumidas
Central control = 2	Guía Carga Peligrosa = 0,5
Sitio supervisión = no aplica	Brig. c/Incendio en c/portal = no
Transmisión Video = 0,5	Detecc. Autom Incendio = 1
Reconoc. Autom Congestión = no	Reconoc. fuego lento = no
Reconoc. Autom Carga Peligr = no	Radio c/acceso a usuarios = no

1. Requerimientos relacionados con la Estructura de los Túneles

a) Requerimientos geométricos y de concepción	Condición impuesta por Directiva EU
<p>Cantidad de tubos: 1 tubo - bidireccional 2 tubos unidireccionales</p>	<p>Volumen diario tránsito en 15 años $< 10.000 \text{ veh/día.carril}$ $\geq 10.000 \text{ veh/día.carril}$</p>
Propuesta:	Comentarios:
<p>1 túnel bidireccional (Solución adoptada en los 3 casos analizados)</p> <p>Recomendaciones Diseñar trazado que permita la construcción futura del 2º tubo</p> <p>Analizar oportunidad de construcción de túnel piloto</p>	<p>En general, excepto para túneles de autopistas urbanas o túneles interurbanos entre grandes urbes, la demanda de tránsito diario para 15 años es inferior a 20.000 veh/día</p> <p>Este criterio tiene que verse asociado con la elección de la pendiente longitudinal; con $i > 3\%$ y alto porcentaje de camiones, puede ser necesario instalar 2 túneles unidirecc.</p> <p>Para el Túnel La Línea no se descartó la Alternativa B (2 túneles unidireccionales), por razones de poder licitar por construcción c/máquina tunelera; no obstante, el factor de seguridad S es mayor para el túnel bidireccional</p>

1. Requerimientos relacionados con la Estructura de los Túneles

a) Requerimientos geométricos y de concepción	Condición impuesta por Directiva EU
<p>Pendiente longitudinal (i): Trazado, alineamiento</p>	<p>En ningún caso $i > 5\%$ Con medidas de seguridad adicionales para $i > 3\%$</p>
Propuesta:	Comentarios:
<p>Para túneles bidireccionales, y alto porcentaje de camiones, mantener debajo de 2%</p> <p>Recomendaciones con tránsito elevado de camiones, reducir pendiente lo más posible</p> <p>Evitar situaciones de riesgo en portales, especialmente curvas cerradas e intersecciones</p>	<p>Con porcentaje alto de vehículos pesados, típico para los casos vistos, es recomendable no sobrepasar 2%; considerar que camiones con 150 kg/HP sólo circulan a 40-50 km/h con $i=2\%$; se reducen los riesgos de efectos psicológicos y de calentamiento de frenos de camiones</p> <p>Se ha visto también, que para túneles de altura ($> 2500 \text{ m}$) y elevado porcentaje de camiones, la demanda de aire fresco para ventilación se hace muy alta ($> 100 \text{ m}^3/\text{s.km}$)</p> <p>Tener especial cuidado con curvas en portales; a pesar de que éstas evitan el efecto de encandilamiento, pueden generar alto riesgo de accidentes en el portal.</p> <p>Medidas de transición de bermas fuera del túnel</p>

1. Requerimientos relacionados con la Estructura de los Túneles

a) Requerimientos geométricos y de concepción	Condición impuesta por Directiva EU
Ancho de Carril (a):	$a \geq 3,5 \text{ m}$ Con medidas de seguridad adicionales para $a < 3,5 \text{ m}$
Propuesta:	Comentarios:
Para túneles bidireccionales, proveer ancho adicional (ancho calzada de casos vistos, entre 7,50 y 8,60 m)	Con ancho de calzada bidireccional $\geq 8 \text{ m}$ se puede generar una mejor separación entre ambos carriles; (demarkación "dura", que puede evitar cambio de carril por negligencia)
Recomendaciones con tránsito elevado de camiones, proveer ancho calzada $> 8 \text{ m}$, ojalá 8,5 m	Anchos de calzada $\geq 8,5 \text{ m}$ permiten el paso de dos vehículos en circulación opuesta, cuando un vehículo queda detenido por emergencia
	Un mayor ancho de calzada facilita el acceso de vehículos de emergencia o de rescate, en caso de accidentes
	El empleo de 3 carriles podría ser justificado, siempre que la pendiente longitudinal sea muy alta ($\geq 3\%$) y que las condiciones geotécnicas no sean muy desfavorables

2. Análisis de casos vistos con respecto a normas y recomendaciones para diseño

27

1. Requerimientos relacionados con la Estructura de los Túneles

a) Requerimientos geométricos y de concepción	Condición impuesta por Directiva EU
Sección transversal:	No hay requerimientos Son vigentes los requerimientos de cada país
Propuesta:	Comentarios:
En los casos analizados, el gálibo vertical varía entre 4,70 y 5,10 m	Una sección transversal más alta otorga más espacio para la circulación del humo en la parte alta (> 5)
Recomendaciones en caso de circulación de tránsito pesado, emplear gálibo vertical $\geq 5 \text{ m}$	En condiciones geológicas desfavorables pueden producirse levantamientos de solera con el tiempo, para los que se requiere una tolerancia vertical
	Un mayor gálibo vertical otorga tolerancia para posibles reparaciones, repavimentaciones y sobrealtura de camiones
	La mayor "holgura" en altura y ancho de la sección transversal incide en forma desproporcionalmente más baja en los costos de inversión

2. Análisis de casos vistos con respecto a normas y recomendaciones para diseño

28

1. Requerimientos relacionados con la Estructura de los Túneles

b) Apoyo a la operación	Condición impuesta por Directiva EU
Bahías de estacionamiento: (Túneles bidireccionales sin carriles de emergencia)	para $L > 1.500$ m, con volumen tránsito diario > 2.000 veh/carril; separación máxima 1.000 m
Propuesta:	Comentarios:
En los casos analizados separación 500 - 1000 m	Es recomendable hacer coincidir las bahías con galerías de escape / rescate o conexiones vehiculares, para facilitar la circulación de vehículos
Recomendaciones hacer coincidir las bahías con las galerías de escape o de conexión vehiculares	En condiciones geológicas favorables, es recomendable instalar bahías enfrentadas a cada costado de la calzada, las que podrán facilitar el giro de ciertos vehículos
	En general, las bahías de estacionamiento son muy útiles para operaciones de mantenimiento del túnel

1. Requerimientos relacionados con la Estructura de los Túneles

c) Instalaciones de emergencia	Condición impuesta por Directiva EU
Pasarelas de emergencia (andenes, veredas)	Se requieren en todos los túneles, elevadas o no elevadas, siempre que no haya carriles de emergencia
Propuesta:	Comentarios:
En los casos analizados, siempre se proveen pasarelas a ambos lados, $b=1$ m	Estas pasarelas son importantes, para permitir a los usuarios abandonar los vehículos en caso de emergencia y no estar en riesgo
Recomendaciones proporcionar pasarelas en cada costado de la calzada con ancho no menor a 75 cm	En general, estas pasarelas son útiles para las operaciones de mantenimiento dentro del túnel
	Es recomendable no elevar las pasarelas demasiado, para permitir que en caso de emergencia, los vehículos puedan despejar la calzada, subiendo parcialmente a la pasarela
	Los espacios reservados para pasarelas, en general no sólo son útiles para la instalación de servicios, sino necesarios

1. Requerimientos relacionados con la Estructura de los Túneles

c) Instalaciones emergencia	Condición impuesta por Directiva EU
<p>Vías de evacuación salidas al exterior conexiones entre dos tubos salidas a galería de emergencia salida a refugio c/vía de evac.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - requeridas p/volumen tránsito diario >2000 veh/carri l - separación mutua \leq 500 m - permitir el acceso de brigadas de emergencia (en túneles existentes, cuando análisis de riesgo y estudios de ventilación demuestren ser suficientes, pueden evitarse)
Propuesta:	Comentarios:
<p>Sólo túnel La Línea cumple estrictamente con requerimientos</p> <p>Recomendaciones Siempre que posible, respetar la Directiva; ES UN FACTOR ESENCIAL DE LA SEGURIDAD</p> <p>En caso de costos insostenibles, efectuar análisis de riesgo y proveer medidas alternativas</p>	<p>En túneles bidireccionales largos, puede constituir un factor de costo muy importante; a pesar de ello, es recomendable considerarlas en el diseño, a pesar de diferir su construcc.</p> <p>Si se difiere la construcción de vías de escape, es recomendable implementar medidas alternativas de aumento de seguridad (S): aumento capacidad extracción de humos, sistema automático detección incendio, transmisión de radio a usuarios, detección autom congestión,</p> <p>La variable más efectiva para garantía de seguridad de usuarios es el sistema de ventilación (alta capacidad de extracción y gestión activa de los humos)</p>

1. Requerimientos relacionados con la Estructura de los Túneles

c) Instalaciones emergencia	Condición impuesta por Directiva EU
<p>Vías de acceso p/rescate</p>	<ul style="list-style-type: none"> - requeridas sólo para túneles de 2 tubos - conexiones vehiculares cada 1.500 m - conexiones entre calzadas en los portales
Propuesta:	Comentarios:
<p>Recomendaciones Considerar algunas vías de escape como vías de acceso para rescate con un ancho de calzada de 8,50 m, se provee espacio para acceso</p>	<p>En general, en túneles bidireccionales largos es válido lo mismo que para vías de evacuación; incluirlas dentro del diseño, a pesar de diferir la construcción; junto con las vías de escape, son un factor decisivo en el factor de seguridad (S) del túnel</p> <p>La provisión de una calzada de ancho \geq 8,50 m otorga facilidades importantes para el acceso para rescate</p> <p>Mediante la provisión de brigadas de rescate permanentes en el área de control del túnel se mejora significativamente el nivel de seguridad (aumento del factor S)</p>

1. Requerimientos relacionados con la Estructura de los Túneles

c) Instalaciones emergencia	Condición impuesta por Directiva EU
Drenaje	Si se permite transporte de mercaderías peligrosas, tiene que preverse la instalación de drenajes continuos con barrera para gases inflamables (si fón)
Comentarios: Constituye una medida efectiva, que es recomendada siempre, en túneles nuevos	Esta medida de seguridad no es especialmente costosa en túneles nuevos, por lo que es recomendable implementarla de todas formas
Resistencia contra fuego	Estructuras de túneles que en caso de derrumbe pueden ocasionar consecuencias catastróficas tienen que poseer suficiente resistencia al fuego
Comentarios: El diseño debe contemplar este requerimiento; existen diversos métodos, algunos de posible aplicación diferida	Esta medida puede implicar costos importantes, a pesar de lo cual, por lo general no requiere ser aplicada en forma continua a lo largo del túnel, sino sólo en sectores en los que el medio que rodea el túnel no es estable por sí mismo

2. Requerimientos relacionados con el Equipamiento de Seguridad

a) Instalac. para ambiente del túnel	Condición impuesta por Directiva EU
Iluminación debe proveerse	- iluminación adecuada, de día y noche - iluminación de emergencia; altura $\leq 1,50$ m
Comentarios	- Una buena iluminación ayuda a evitar accidentes; - Cambios en color de iluminación y túnel mejoran seguridad en túneles
Ventilación:	- asegurar control contaminantes en operación normal, congestión y emergencia, como también en caso de incendio - en túneles bi direccionales o uni direccionales c/congestión no usar ventilación longitudinal, excepto que se demuestre que es seguro - para túneles $L > 3.000$ m y 2.000 veh/carril instalar celosías "gestionables" para extracción/suministro aire
Comentarios Toda inversión en manejo de humos a través de la ventilación es una inversión en seguridad (aumento componente de seguridad SR)	En operación normal y congestión: - El diseño de la ventilación para estas condiciones puede afectar significativamente el diseño geométrico de trazado y túnel (factibilidad?) - Diseñar cada túnel en forma exclusiva; combinar sistemas En caso de incendio: - Mediante el manejo y extracción de humos se puede aumentar tiempo de reacción de usuarios y generar espacios dentro del túnel "seguros";

Ventilación – Comentarios sobre Limitantes

<p>Ventilación Longitudinal</p> <p>(la directiva Europea condiciona el uso de ventilación longitudinal en tránsito bidireccional o tránsito unidireccional con posibilidad de congestión al resultado de un análisis de riesgo)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - En túneles bidireccionales esta ventilación no es eficiente, excepto que el volumen de tránsito sea bajo; <p>Ejemplo: Caso 3 Túnel La Pólvara; L = 2,2 km; i = 2,1%, altura del mar</p> <ul style="list-style-type: none"> - 836 veh/hora; 32% camiones; considerados todas las resistencias posibles ➡ 12 aceleradores, Potencia total (180 + 240) = 420 kW <p>Con esta ventilación se provee la dilución de contaminantes y el manejo de humos de incendios, incluido la prevención del efecto de backlayering)</p> <ul style="list-style-type: none"> - En condiciones poco favorables, a pesar de bajo tránsito, se hace impracticable <p>Ejemplo: Túnel Cristo Redentor; L = 3,1 km; i = 1,7 - 0,4 %, 3.200 msnm</p> <ul style="list-style-type: none"> - aprox. 250 veh/hora; 64 - 86% camiones ➡ 16 aceleradores, Potencia total = 480 kW <p>Con esta ventilación apenas se puede proveer la dilución de contaminantes hasta una velocidad de circulación de 20 km/h; NO se puede ventilar el túnel durante la congestión NI manejar los humos de incendios;</p>
<p>Comentarios</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Para túneles bidireccionales la ventilación longitudinal es aplicable sólo en casos favorables: túneles cortos (L < 3000 m), baja altura y poco tránsito - No obstante, la instalación de aceleradores bajo un ducto de extracción de humos (o ventilación transversal completa) puede ser muy útil para el manejo y extracción de humos de incendios.

2. Requerimientos relacionados con el Equipamiento de Seguridad

b) Equipamiento de Seguridad	Condición impuesta por Directiva EU
<p>Estaciones de emergencia</p>	<ul style="list-style-type: none"> - equipadas con 1 teléfono de emergencia y 2 extintores - en lo posible, empotradas en la pared lateral - separación máxima 150 m en túneles nuevos
<p>Comentarios</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Medida mitigadora de los efectos de emergencias dentro del túnel - Acción rápida de usuario c/extintor puede prevenir incendio mayor
<p>Abastecimiento de agua</p>	<ul style="list-style-type: none"> - provisión de agua para combate de incendios en portales en todos los túneles - distancia máxima entre hidrantes dentro del túnel 250 m - en caso de no disponibilidad de agua, proveer otra fuente de agua
<p>Comentarios</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Medida mitigadora de consecuencias de incendios muy importante, por probabilidad alta de interrupción de suministro de agua por brigadas de combate de incendios - No se promueve el uso de sistemas de autoextinción (sprinklers)
<p>Sistema detección incendio</p>	<ul style="list-style-type: none"> - imperativo para túneles sin central de control, cuyo sistema de extracción de humos de incendio es diferente al de extracción de contaminantes en caso de operación normal
<p>Comentarios</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Medida mitigadora de consecuencias prioritaria, porque puede prevenir grandes desastres a través de la rápida acción de brigadas de emerg.

2. Requerimientos relacionados con el Equipamiento de Seguridad

b) Equipamiento de Seguridad	Condición impuesta por Directiva EU
Señales de emergencia	- todas las instalaciones y equipamiento de seguridad debe ser señalado; se impone el formato de señales
Comentarios	- esta medida de poco costo relativo, ha mostrado ser muy importante y es reforzada más y más en túneles, porque se reconoce que los usuarios por lo general poseen información muy limitada y porque ellos sólo deben actuar tal como previsto por los planes de emergencia
Mensajes por radio FM	- si existe que exista emisión, ésta debe poder interrumpirse para emitir mensajes de emergencia

2. Requerimientos relacionados con el Equipamiento de Seguridad

c) Apoyo a operación y manejo del tránsito	Condición impuesta por Directiva EU Comentarios
- Señales de tránsito variables; sistema de cierre del túnel	- Se requieren para túneles $L > 1.000m$; para túneles $L > 3.000m$ y $> 2000veh/pista$, cierres $c/1000m$ Herramientas excelente para alerta de usuarios
- Comunicación por radio con brigadas de emergencia	- Requerido p/ túneles $L > 1.000m$; $> 2000veh/carri$ Es una herramienta excelente para coordinación de las tareas de combate y rescate
- Comunicación por parlantes con usuarios en sitios "seguros"	- Siempre que usuarios queden "retenidos" en sitios considerados "seguros" en el túnel Medida de coordinación c/usuarios muy útil
- Sistemas de monitoreo de tránsito	- Con Central se requiere monitoreo de incidentes en la operación del tránsito (congestión, emerg.) Factor importante en la garantía de seguridad
- Sistema de monitoreo por CCTV	- Se requiere cuando hay Central de Control Medida de mitigación de consecuencias a través de la identificación y gravedad de la emergencia
- Alimentación de energía de emerg.	- Mandatoria p/todos los túneles y sistemas evac. Imprescindible p/operación de medidas de emergencia, evacuación y rescate

3. Requerimientos relacionados con la Operación del Túnel

a) Planificación	Condición impuesta p/Directiva EU; comentarios
<ul style="list-style-type: none"> - Programas de mantenimiento - Manuales de operación - Manuales de Emergencia - Manuales de Gestión de Tránsito - Simulaciones de Emergencia 	<ul style="list-style-type: none"> - No hay requerimiento específico Es una práctica común, requerida por los Mandantes - Requerido, a ser aprobado por el "Responsable de Seguridad (RdS)" designado para el túnel respectivo - Requeridos p/todos los túneles; p/túneles bi racionales, tiene que ser único; requiere aprobación del RdS - Deben elaborarse con participación y aprobación del RdS - Deben desarrollarse con la participación del RdS
b) Medidas de Operación	Condición impuesta p/Directiva EU; comentarios
<ul style="list-style-type: none"> - Centro de Control de Tránsito - Controles de Acceso - Informaciones a Usuarios - Supervisión - Asistencia en ruta - Entrenamiento - Mantenimiento Preventivo 	<ul style="list-style-type: none"> - Se requiere para túneles $L > 3.000m$ $> 2000veh/carril$; Una central puede supervisar más de 1 túnel - Requerido para túneles $L > 1.000 m$ p/túneles $L > 3000m$ se requiere además controles interiores $c/1000 m$ - Se requiere la ejecución de campañas de información periódicas, en sitios cercanos al túnel o por internet - Asociado al requerimiento de "Centro de Control" - No hay requerimiento específico Es una práctica común, requerida por los Mandantes - Se requiere entrenamiento de base y periódico, con presencia y aprobación por parte del RdS - No hay requerimiento específico; válida normativa nacional

2. Análisis de casos vistos con respecto a normas y recomendaciones para diseño

39

3. Requerimientos relacionados con la Operación del Túnel

c) Criterios de Operación	Condición impuesta p/Directiva EU; comentarios
<ul style="list-style-type: none"> - Prohibición de carga peligrosa - Restricción de circulación de vehículos pesados - Restricciones de velocidad - Distancia entre vehículos - Restricciones vehiculares 	<p>Los requerimientos han de ser decididos para cada túnel, con la participación del RdS, siendo parte del "diseño" de la obra</p> <p>Todas estas variables son "manejables" hasta cierto punto, y son las que en definitiva permiten mejorar significativamente las condiciones de seguridad de una obra (coeficiente de seguridad)</p> <p>A través de una inteligente planificación estratégica de los criterios que involucran estas variables es posible construir una obra en "fases", definiendo la construcción de algunas partes</p>
d) Recursos de Emergencia	Condición impuesta p/Directiva EU; comentarios
<ul style="list-style-type: none"> - Recursos y equipamiento de rescate - Brigadas de Emergencia, Stand-by 	<p>En general, la estrategia de implementación de los recursos de emergencia (rescate, combate de incendios, asistencia, etc.) son el resultado de una evaluación de riesgo, que se debe hacer para cada proyecto en forma específica</p> <p>También estas variables constituyen no sólo una necesidad de proyecto, sino una posibilidad de lograr economías de obra</p>
e) Imposición	Condición impuesta p/Directiva EU; comentarios
<ul style="list-style-type: none"> - Patrulla - Imposición por Control Remoto 	<p>Es el resultado de las necesidades emanantes del análisis de riesgos y de las instalaciones y equipamiento de seguridad provistas</p>

2. Análisis de casos vistos con respecto a normas y recomendaciones para diseño

40

Comentarios Finales

Túneles son obras de grandes costos de inversión, en todo el mundo, en todas las situaciones y también en la región, no siendo muy frecuente, que resulten rentables para inversión privada

Es razonable, entonces, buscar alternativas lo más económicas posibles, para no tener que descartar una obra necesaria

No obstante ello, existen no sólo limitantes físicas que impiden la economía, sino aspectos de seguridad, que demandan la toma de responsabilidad por parte de Mandantes y Proyectistas

Por lo tanto, es prudente invertir suficiente en la concepción y estrategia de diseño y construcción, tomando todos los recaudos tempranamente, y difiriendo aspectos, siempre que sea justificable