



Comité de Explotación de Túneles, C 3.3 de PIARC
Seminario en San Juan (Argentina)

Marzo de 2006

SEGURIDAD VIAL EN TÚNELES

Manuel Romana Ruiz

Secretario de habla española del C 3.3 de PIARC

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de
Camino, Canales y Puertos

Universidad Politécnica de Valencia

España

mromana@stmr.es

Comité de Túneles, C 3.3
Seminario en San Juan, 2006



SEGURIDAD DEL TRÁFICO

Comité de Túneles, C 3.3
Seminario en San Juan, 2006

- No puede haber tráfico absolutamente seguro
- Siempre ocurrirá algún número de incidentes, algunos con consecuencias graves para las personas y/o las cosas
- Según la OECD (1999) en el 95% de los casos el comportamiento incorrecto de los conductores es una de las causas principales del accidente



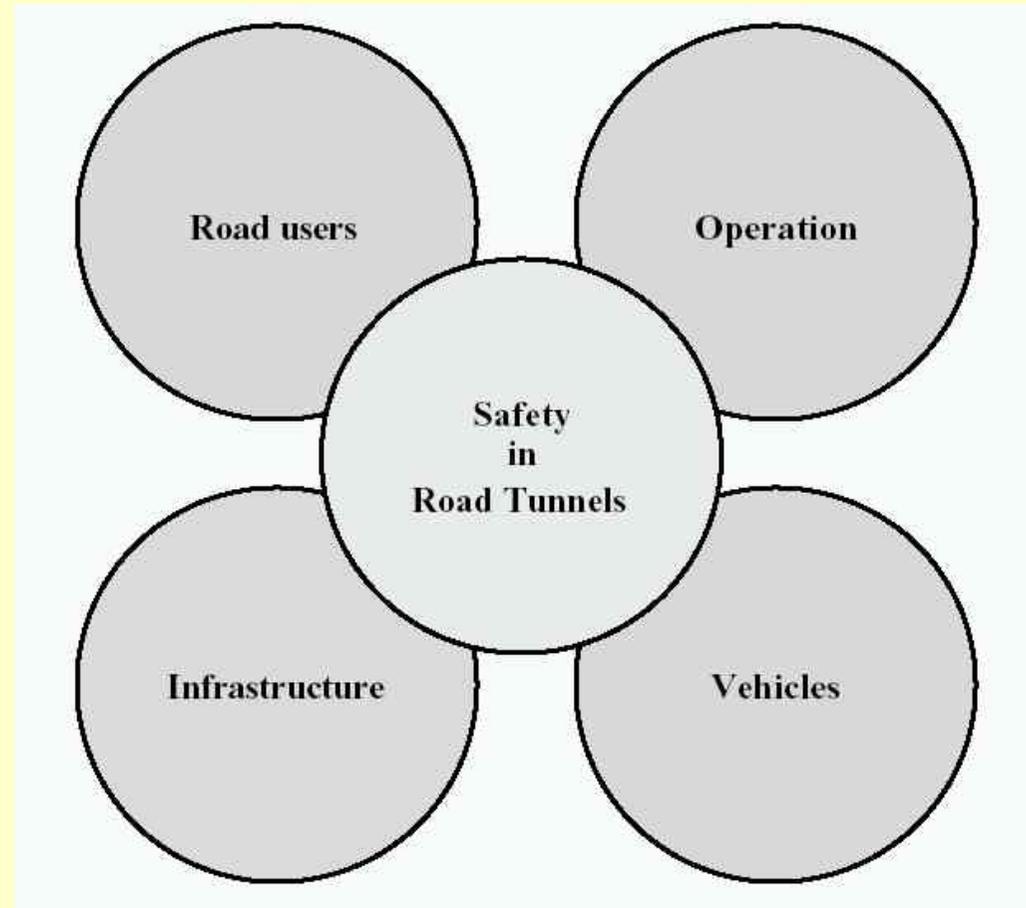
CAUSAS DE LOS ACCIDENTES

- Las causas de accidentes de carretera son:
 - Comportamiento incorrecto de los usuarios
 - Inadecuaciones de la red de carreteras
 - Defectos de infraestructura
 - Mala explotación
 - Problemas debidos a los vehículos
 - Problemas con el sistema eléctrico
 - Problemas con los frenos
 - Recalentamiento del motor
 - Problemas debidos a la carga
 - Inestabilidades
 - Mercancías peligrosas

FACTORES DE LA SEGURIDAD

Comité de Túneles, C 3.3
Seminario en San Juan, 2006

- Usuarios del túnel
- Explotación del túnel
- Infraestructura de seguridad del túnel
- Condiciones de los vehículos





Principios básicos de diseño

- Criterios de seguridad
 - PREVENTIVA
 - Evitar los accidentes
 - Minimizar los accidentes
 - CORRECTIVA
 - Facilitar la autoprotección de los usuarios
 - Facilitar la actuación de equipos de emergencia
- Criterios de servicio
 - La capacidad del túnel no debe ser inferior a la de la carretera en la que se encuentre.
 - La velocidad mínima de pesados será 60 Km/hora
- Criterios de economía
 - El coste del túnel crece con la sección
 - La vida de los túneles es muy larga



Bases de esta presentación

- Directiva Europea sobre seguridad en túneles de la Red Europea de Transportes (2004/54/EC)
- Informes publicados por PIARC del Grupo de Trabajo WG4 (animador Urs Welte, Suiza) del Comité (C3.3) de Túneles de PIARC (presidente Didier Lacroix, Francia)
 - Cross Section Geometry in Unidirectional Road Tunnels (ponente Ben P. Rigter, Holanda), 2001
 - Cross Section Geometry in Unidirectional Road Tunnels (ponente Joan Almirall, España), 2004
- Datos sobre accidentalidad en diversos trabajos del C 3.3
- Norma de trazado española
- Criterios personales



Orden de la presentación

- Tipos de accidentes en túneles
- Cuestiones de trazado y geometría
- Cuestiones sobre la sección tipo
- Cuestiones sobre las bocas
- Imagen del túnel



Tipos de problemas

Comité de Túneles, C 3.3
Seminario en San Juan, 2006

- Averías
- Accidentes
- Incidentes = Averías + Accidentes
- Incendios
- Las frecuencias se miden en número de eventos por cada 100.000.000 de vehículos-kilómetro (**10⁸ veh.-kil.**)



Efectos de la velocidad y de la geometría

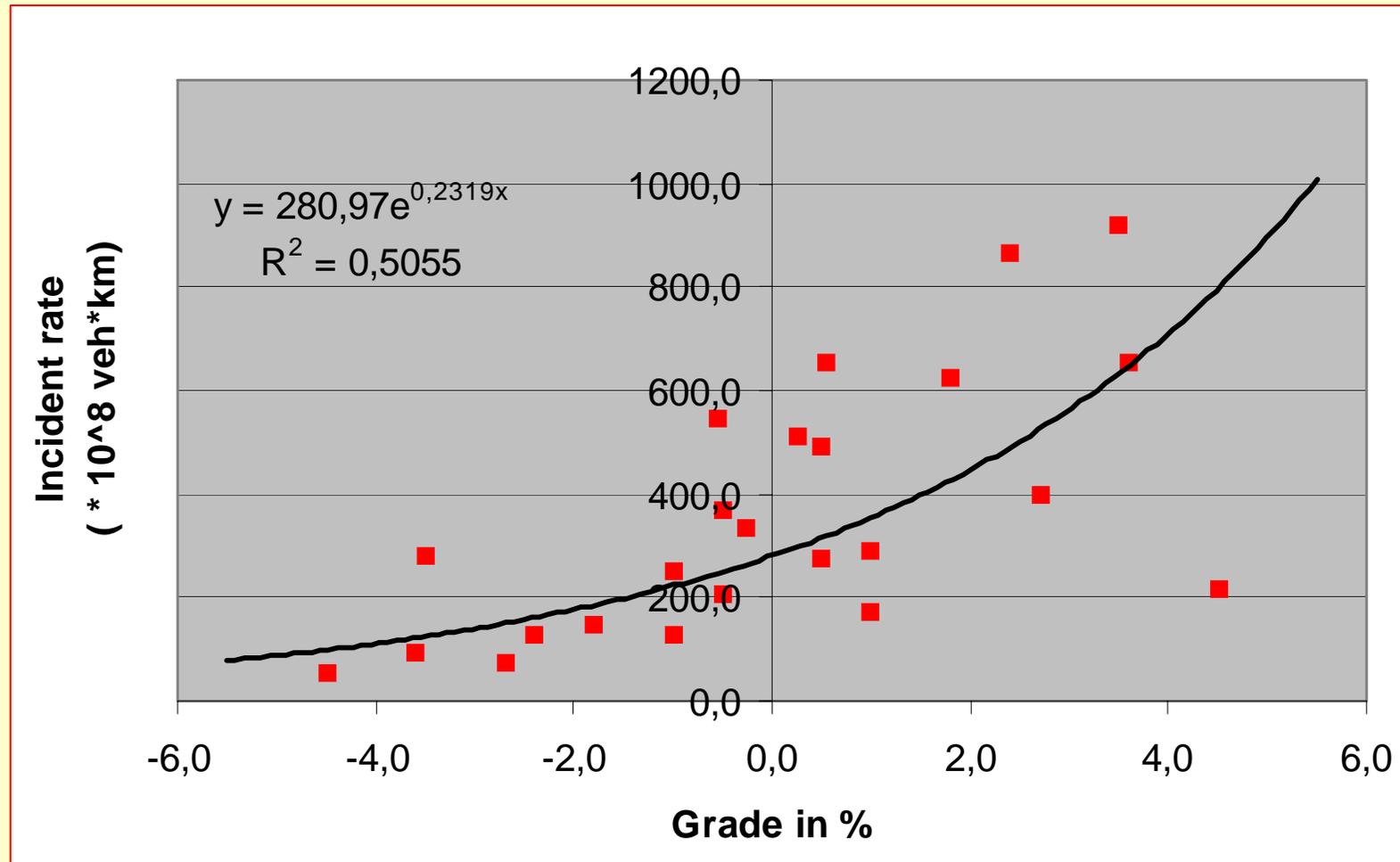
- En muchos casos se recomienda una limitación general de velocidad a **90 km/hora**
- No debe establecerse una limitación especial de velocidad para los vehículos pesados (y menos a **60 km /hora**)
- Más accidentes
 - Con anchos de carril iguales/menores de 3 m
 - En secciones más pequeñas
 - Con radios inferiores a 550-600 m.
 - Con gálibo reducido/estricto (Noruega, Francia)
 - Con pendiente descendente

Frecuencia de incidentes

- En túneles bidireccionales
 - 750 por 10^8 veh.-kil.
 - Dispersión del ± 40 %
- En túneles unidireccionales
 - 600 por 10^8 veh.-kil.
- La pendiente del túnel influye mucho sobre la frecuencia de incidentes (los vehículos pueden salir, o no, cuesta abajo por sus propios medios)

Frecuencia de incidentes vs pendiente del túnel

Comité de Túneles, C 3.3
Seminario en San Juan, 2006



Frecuencia de averías

- En túneles urbanos
 - 1.300 (por 10^8 veh.-kil.)
- En túneles no urbanos en campo abierto
 - 300-600 (por 10^8 veh.-kil.)
- En túneles no urbanos de montaña
 - 900-1.900 (por 10^8 veh.-kil.)
 - (Con pendientes de 2.5% aumenta 5 veces la tasa de averías)



Frecuencia de accidentes

- Túneles urbanos (y bajo canales)
 - Solo daños 40-150 (por 10^8 veh.-kil.)
 - Con heridos 10-50 (con muertos **0-3**)
- Túneles bidireccionales
 - Solo daños 20-100 (por 10^8 veh.-kil.)
 - Con heridos 0-20 (con muertos **0-2**)
- Túneles unidireccionales
 - Solo daños 30-80 (por 10^8 veh.-kil.)
 - Con heridos 0-13 (con muertos **0-1**)

Tipos de accidentes

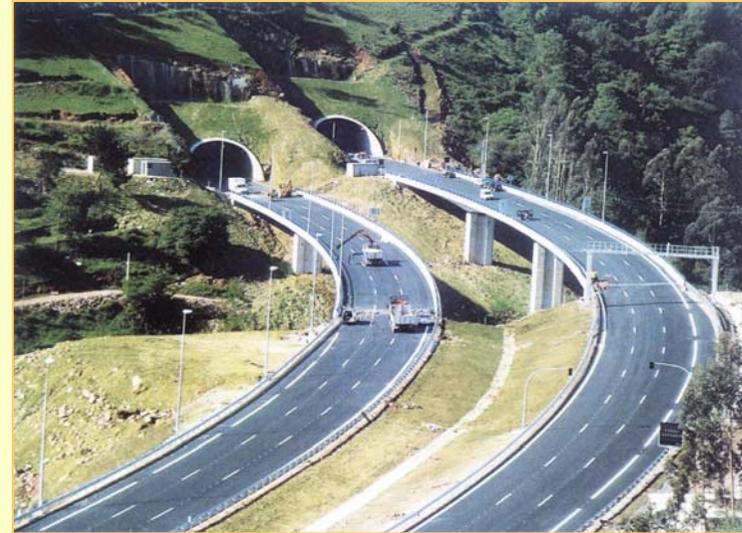
- Según la clase de vehículos
 - Ligeros 79%
 - Pesados 32%
 - Motos 4%
- Según el número de vehículos implicados
 - En túneles urbanos 2.5 veh. + **alcances**
 - En túneles bidireccionales 1.6 veh. + **frontales**
 - En túneles unidireccionales 1.4 veh. + **excesos velo.**
- Más frecuentes de madrugada-noche

Aspectos subjetivos de los conductores

- Agorafobia vs **Claustrofobia**
 - Agudas 1%
 - Serias 7%
 - Moderadas 30%
- Sensación a la entrada del túnel
 - Según la iluminación
 - Según el aspecto de la entrada y la geometría de la transición entre la calzada a cielo abierto y la boca
- Agotamiento por monotonía en los túneles muy largos

Trazado en planta

- Curvas amplias como en exterior
- Mejorar las bocas en curva
- Tener en cuenta sobrealto por visibilidad de parada



Trazado interior

- Los mismos carriles en el interior que en los accesos

NO

- El túnel debe ser fácilmente "legible"

- Evitar las intersecciones dentro del túnel

NO





Criterio general sobre enlaces

- No debería realizarse ningún tipo de conexión, nudo o glorieta en la calzada, en los 250 m anteriores o posteriores a un túnel (o a una serie de túneles próximos)
- El número de carriles en un túnel debe ser el mismo que en sus accesos
- Por lo tanto los carriles lentos deben terminarse a cierta distancia del túnel (mejor con cambio de pendiente para permitir una recuperación de los vehículos)
- Sin embargo hay situaciones en las que no pueden cumplirse estas reglas

Enlace urbano de un túnel evitando la glorieta próxima (Málaga)

Comité de Túneles, C 3.3
Seminario en San Juan, 2006



Trazado inadecuado

Comité de Túneles, C 3.3
Seminario en San Juan, 2006



Alineaciones verticales (1/3)

- Debe procurarse una pendiente máxima del 3%. Lo recomiendan:
 - La Directiva Europea
 - Muchas normas de trazadoporque con esa pendiente:
 - Aumenta más que proporcionalmente la emisión de gases de los vehículos
 - Se hace mucho más difícil controlar el humo
- Deben proscribirse las pendientes
 - Mayores del 5% (lo prohíbe la Directiva Europea porque el humo de un incendio es casi incontrolable)
 - Menores del 0,5% (no es posible drenar por gravedad)
- En túneles cortos ($L < 1$ km) una sola pendiente

Alineaciones verticales (2/3)

Túnel con una sola pendiente y carril lento

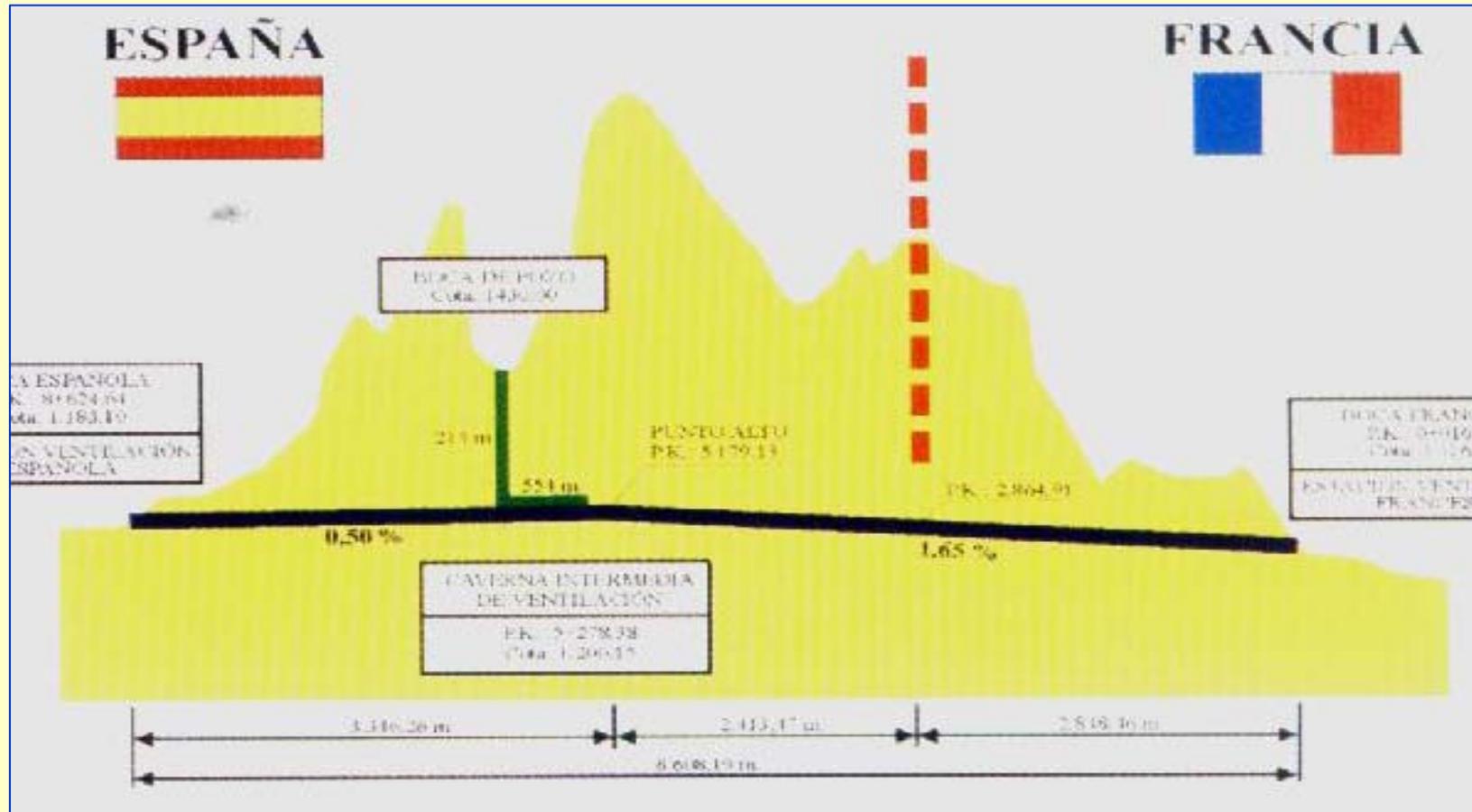
Comité de Túneles, C 3.3
Seminario en San Juan, 2006



Perfil del Túnel de Somport (3/3)

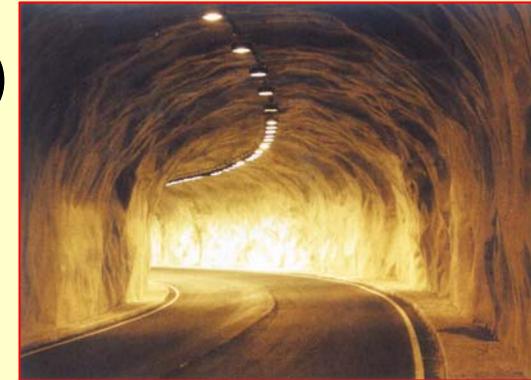
Deben evitarse los puntos altos sin absorción de humos

Comité de Túneles, C 3.3
Seminario en San Juan, 2006



Alineaciones horizontales (1/2)

- En túneles largos ($L > 500$ m)
 - Es mejor extremos en curva
 - Para graduar la luz exterior
 - Para evitar el efecto “agujero”
 - La alineación recta máxima debe ser 1.500m
- En túneles cortos ($100 < L < 500$ m) el trazado puede ser en recta o en curva
- En túneles muy cortos ($L < 100$ m) es mejor el trazado en recta
- Debe evitarse la pérdida de visibilidad de parada



Alineaciones horizontales (2/2)

Ejemplo de túnel corto en curva

Comité de Túneles, C 3.3
Seminario en San Juan, 2006



Despeje lateral en curvas

Perdida de visibilidad de parada en carril derecho

Comité de Túneles, C 3.3
Seminario en San Juan, 2006





Orden de la presentación

- Tipos de accidentes en túneles
- Cuestiones de trazado y geometría
- Cuestiones sobre la sección tipo
- Cuestiones sobre las bocas

Gálibo vertical

- El gálibo estricto sería la altura de un vehículo (4 m), más un margen para movimientos dinámicos, más otro para comodidad de conducción **TOTAL 4,50 m**
- Hay que añadir márgenes de protección de las instalaciones, para la repavimentación y tolerancias de construcción
- La mayoría de los países fijan gálibos entre 4,50 m y 5,10 m
- En España el gálibo obligatorio es de 5,00 m sobre la calzada y de 2,00 m sobre las aceras

Distancia al hastial

- El Manual de Capacidad define un “efecto pared” como una reducción de la capacidad (o de la velocidad de flujo libre) cuando la distancia a un “obstáculo lateral” es menor de 1,80 m.
- Es dudoso si los usuarios de túneles perciben como “obstáculo lateral” el borde de la acera, el de la barrera de seguridad, o el propio hastial
- Los ojos del conductor están a 1,20 m. sobre la calzada, así que probablemente los obstáculos de altura inferior a 0,80 m. no son percibidos como tales, especialmente si son lisos y de color claro

Anchos de carril

- Como norma general los anchos de carril deben ser iguales en el exterior y en el interior del túnel
- Los anchos de carril más normales son:
 - **3,60 m en USA, Reino Unido y otros países**
 - **3,50 en la mayoría de los países (para todo tráfico) (en España 3,50)**
 - **3,00/3,25 en algunos países y en carreteras de montaña**
- Pueden aceptarse anchos de 3,25 m sin reducción de la capacidad, sobre todo en túneles urbanos sin tráfico pesado
- Los anchos incluyen las marcas viales interiores

Anchos de arcén

- El ancho de arcén debe permitir el aparcamiento de un vehículo inmovilizado sin reducir el número de carriles de circulación en el túnel
- El ancho mínimo de arcén es de 1 m (sólo se puede estacionar si la acera es montable)
- El ancho usual de arcén (o de carril adicional de emergencia) es de 2 m. (se puede estacionar) (en España 2,50 m)
- No debe haber arcenes de anchos intermedios entre 1 y 2 m porque producen situaciones de peligro (los usuarios creen que se puede estacionar)
- El ancho de arcén incluye la marca vial de borde

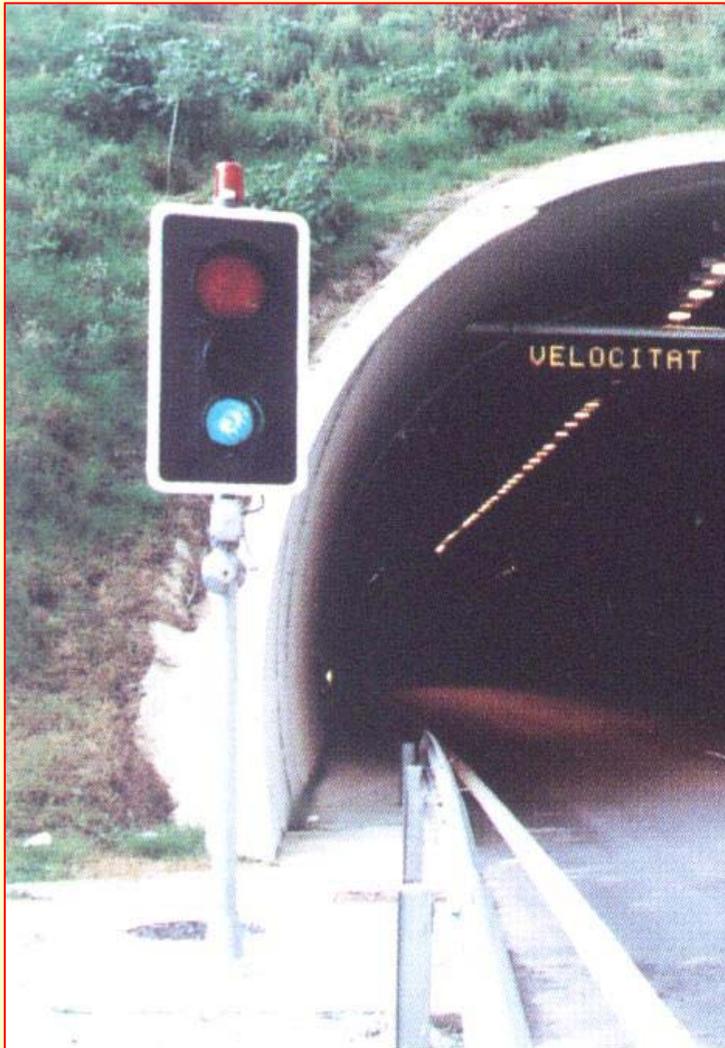
- Funciones de la acera
 - Permitir alguna circulación peatonal (hacia postes SOS, mantenimiento)
 - Proteger equipos instalados en las paredes
 - Dar resguardo vertical contra derrames en la calzada
 - Permitir la apertura de puertas de los vehículos detenidos
 - Ampliar el ancho del arcén como zona de parada
- Altura de la acera (ancho de 0.75 a 1.00 m)
 - Para permitir la apertura de puertas, máximo 20 cm
 - Para actuar como barrera, mínimo 25 cm
 - Para acera montable, máximo 15 cm y deseable 7 cm
 - Altura nula en varios países (con carril de emergencia)

Barreras laterales (1/3)

- Flexibles
 - Mejor para colisión con gran ángulo
 - Requieren más ancho
 - No deben instalarse en el interior de túneles porque impiden el acceso a la acera
- Rígidas (perfil "New Jersey")
 - Mejor para colisión con pequeño ángulo
 - Devuelven el vehículo a la calzada
 - No ocupan gálibo de peatones
 - Permiten usos adicionales
 - Son adecuadas para los túneles

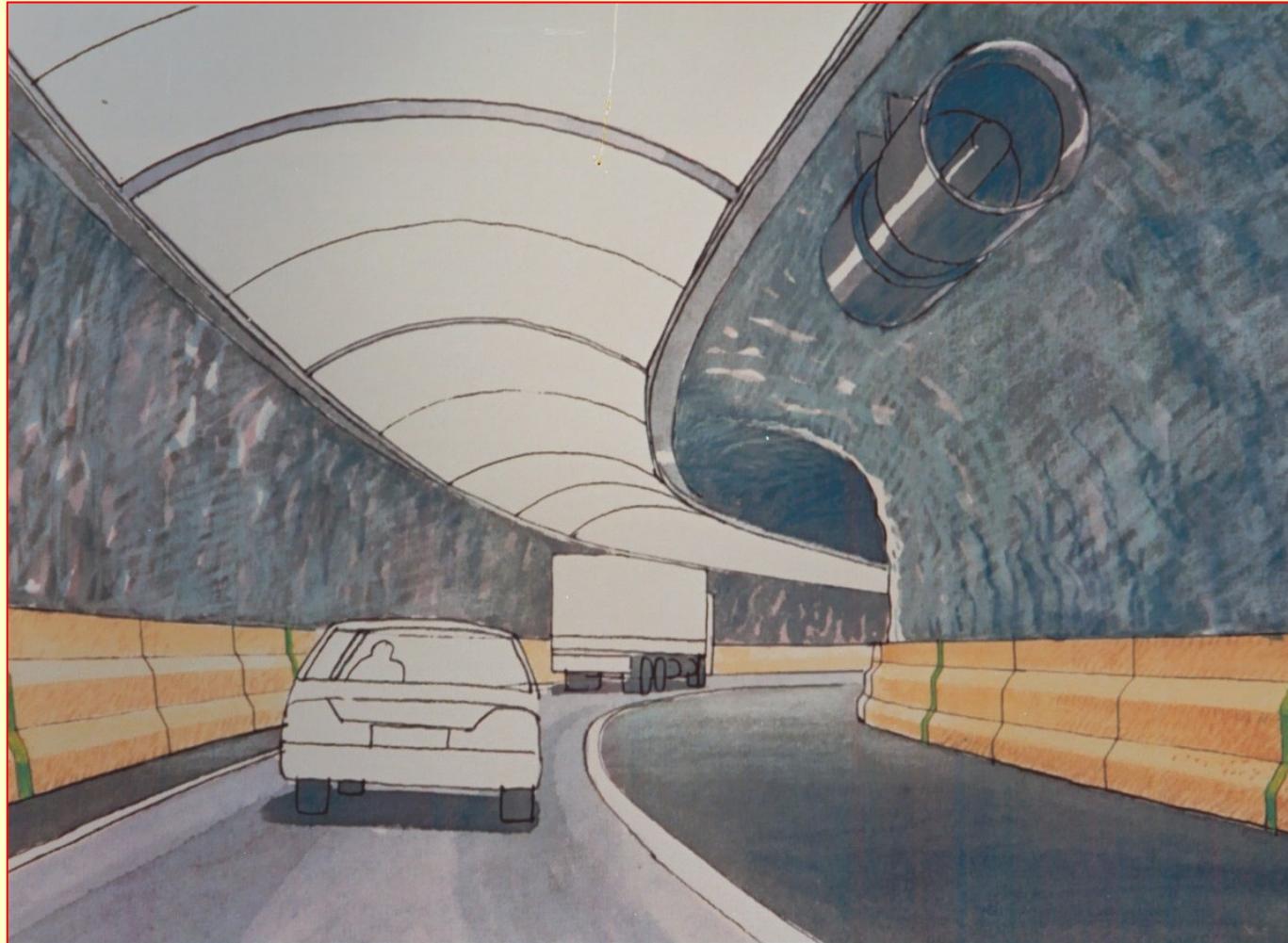
Barreras laterales flexibles (2/3)

Comité de Túneles, C 3.3
Seminario en San Juan, 2006



Barreras laterales rígidas (3/3)

Comité de Túneles, C 3.3
Seminario en San Juan, 2006



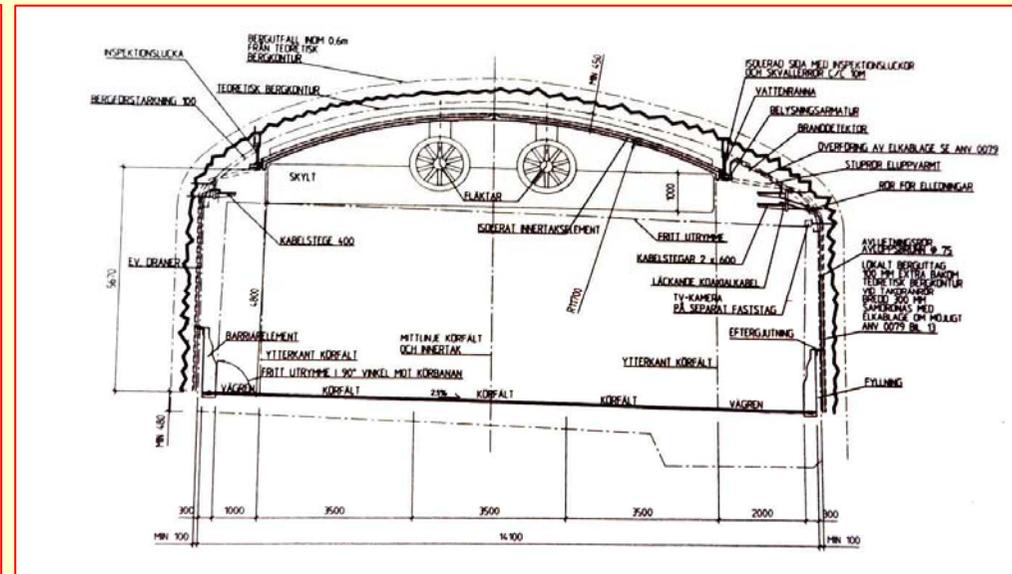
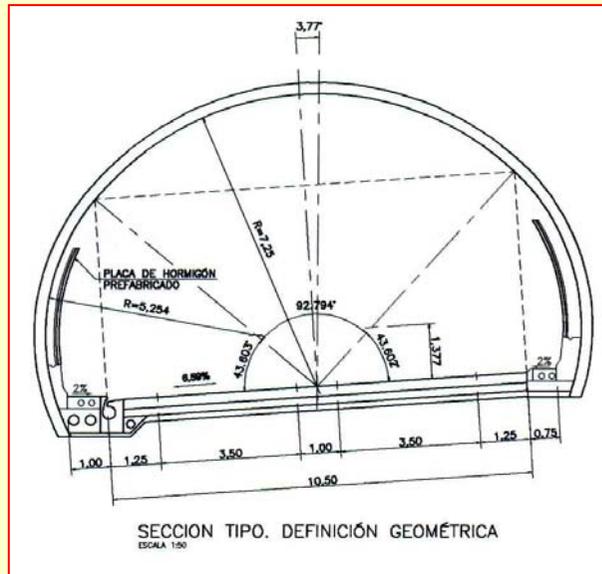


Peraltes (1/2)

- El peralte es función de la velocidad específica de proyecto
- Los peraltes mínimos son
 - 2% transversal perpendicular al eje
 - 0,5% transversal en cualquier dirección (por drenaje)
- Los túneles de curvatura horizontal única permiten drenar sólo en un lateral
 - Con ahorro de construcción
 - Con simplificación de vertidos
- No hay razón para no construir los túneles con el peralte requerido

Peraltes (2/2)

- Si el peralte es grande debe inclinarse el eje de simetría del túnel para mantener iguales las condiciones geométricas de ambos hastiales tal como las visualiza el conductor

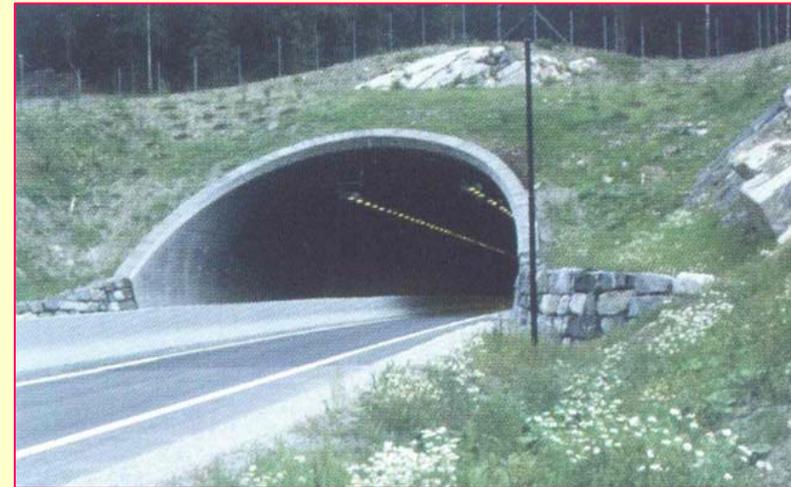


Separación entre calzadas (1/2)

- En túneles bidireccionales debe prohibirse el adelantamiento en todo el túnel
- Las dos calzadas pueden separarse:
 - Con una doble línea continua
 - Con una zona cebreada de 1m
 - Con una barrera rígida central (a evitar)
 - Ocupa 0,50 m
 - Requiere dos arcenes de 0,50 m a cada lado
 - Dificulta mucho las maniobras de ayuda y socorro

Separación entre calzadas (2/2)

Comité de Túneles, C 3.3
Seminario en San Juan, 2006





Orden de la presentación

- Tipos de accidentes en túneles
- Cuestiones de trazado y geometría
- Cuestiones sobre la sección tipo
- Cuestiones sobre las bocas



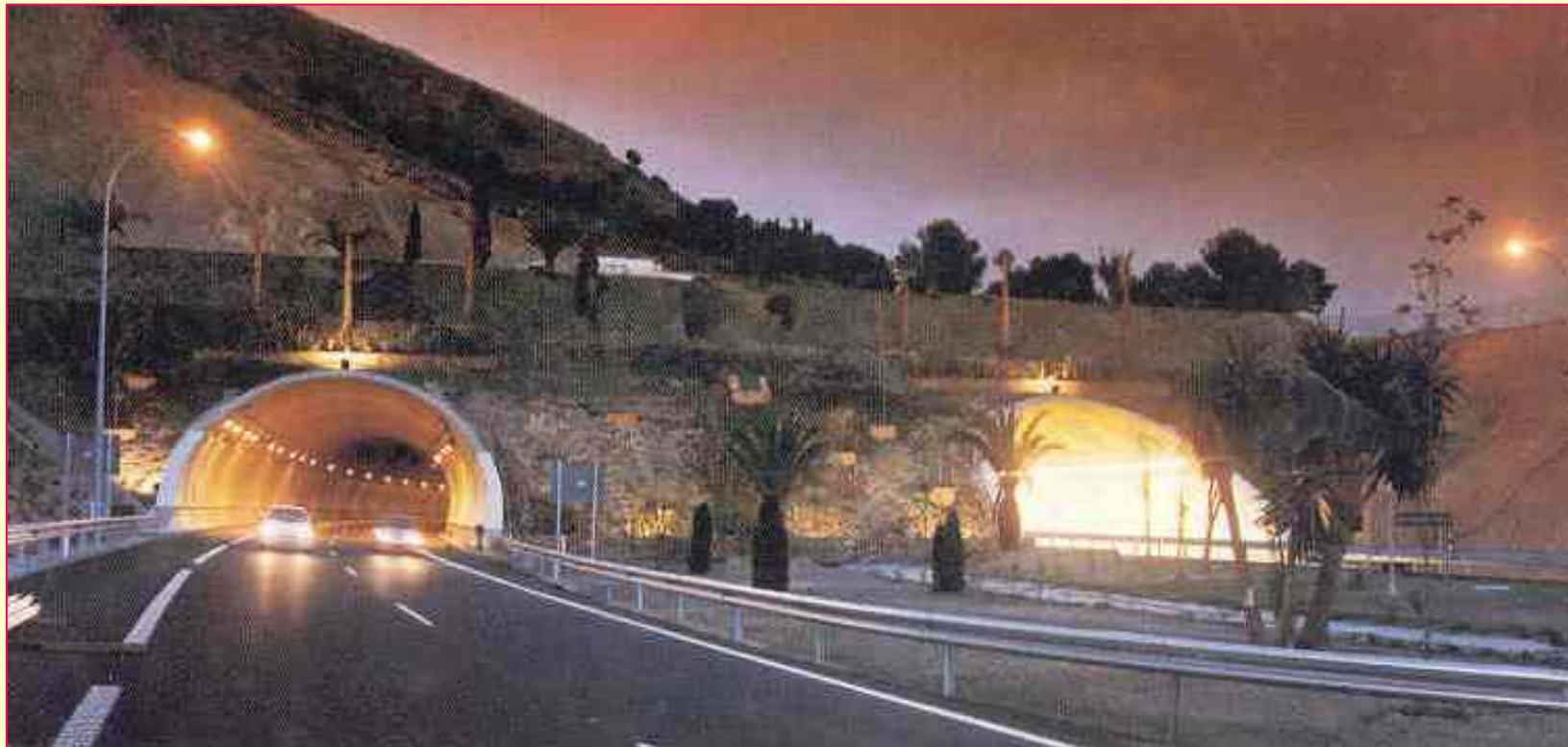
Criterios subjetivos de valoración de las bocas

- Según la iluminación
 - De día mejor los túneles mejor iluminados
 - De noche bien todos los túneles iluminados
- Según la forma de la transición del exterior al túnel
 - Mejor las transiciones graduales
 - Peor las bocas sobre un plano frontal
- Según el aspecto del interior
 - Mejor los túneles de colores claros

Ejemplo de boquillas de noche

Túneles de Capistrano, Málaga-Algeciras, España

Comité de Túneles, C 3.3
Seminario en San Juan, 2006



Encuesta de valoración del aspecto de las bocas (1/4)

Estos ejemplos de bocas fueron clasificados por los conductores de peor a mejor:

Comité de Túneles, C 3.3
Seminario en San Juan, 2006



A



B



C



D

Encuesta de valoración del aspecto de las bocas (2/4)

Comité de Túneles, C 3.3
Seminario en San Juan, 2006

MAL



Encuesta de valoración del aspecto de las bocas (3/4)

REGULAR

Comité de Túneles, C 3.3
Seminario en San Juan, 2006



Encuesta de valoración del aspecto de las bocas (4/4)

Comité de Túneles, C 3.3
Seminario en San Juan, 2008

BIEN

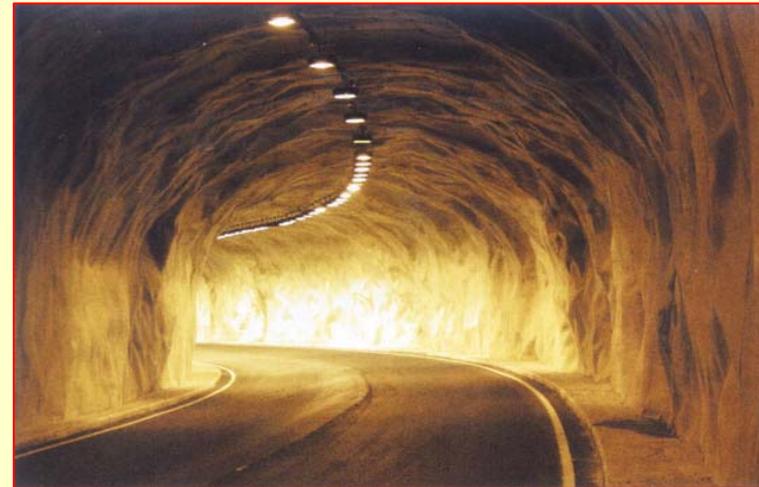


Imagen interior del túnel (1/2)

- Los túneles deben fáciles de entender por los conductores (“legibilidad”)
- La señalización debe ser clara y sólo la imprescindible
- Los hastiales deben ser “suaves” y preferentemente más claros que el techo
- La iluminación debe ser la adecuada y no distraer al conductor
- El espacio del túnel debe pautarse para dar al conductor sentido de profundidad

Imagen interior del túnel (2/2)

Comité de Túneles, C 3.3
Seminario en San Juan, 2006



GRACIAS POR SU ATENCION

**UN TÚNEL NO ES UN AGUJERO
NEGRO**

**UN TÚNEL ES UNA PARTE DEL
SISTEMA DE CIRCULACIÓN
VIAL Y DEBE PROYECTARSE
TENIENDO EN CUENTA AL
USUARIO**