

TÚNELES. ASPECTOS DE SEGURIDAD E INSTALACIONES

Juan Manuel Sánchez Herrero

*Ingeniero Técnico de Minas
Responsable de Instalaciones de Túneles
ESTEYCO, S.A.P.*

1. En los accesos a los túneles carreteros

Las cuestiones de seguridad a tener en cuenta a la hora de proyectar un túnel, pasan sin duda alguna por estudiar las zonas periféricas a las bocas. Alguno de los aspectos a tener en cuenta son los siguientes:

a) Orientación adecuada de las boquillas.

Unos de los aspectos importante a tener en cuenta a la hora de diseñar un túnel, es la orientación de las boquillas, con el objeto de evitar o en su defecto minimizar el deslumbramiento a la salida de los túneles.

Indudablemente el trazado de los túneles viene determinado por la traza general de la carretera y frecuentemente no puede variarse de forma sustancial. Esto implica, con dependencia de la orientación del túnel y días del año, pueda darse el caso de que los usuarios padezcan deslumbramiento debidas a la luz del día a determinadas horas.

A continuación se muestra un ejemplo de está situación, en la que se puede observar el deslumbramiento producido por la luz diurna en los túneles de “El Pardo” situados en la autovía de circunvalación M-40.



*Figura 1.- Salida por la Boca Sur de los Túneles de “El Pardo”,
situados en la autovía de circunvalación M-40 (Madrid)*

Para evitar esta incidencia, es conveniente disponer una curva cerca de las bocas de salida con objeto que desde dentro del túnel sea poco visible el exterior.

b) Problemática visual de los túneles.

La problemática visual de los túneles, viene dado fundamentalmente por la adaptación del ojo humano entre los diferentes niveles de luminancia existentes entre la zona exterior e interior de los túneles, dando lugar a lo que se conoce como “efecto agujero negro”, que impide, que un conductor durante el día vea el interior del túnel cuando éste se encuentra a una cierta distancia de la boca de entrada.

Para evitar que aparezca este efecto, es necesario realizar un buen diseño de la iluminación interior de los túneles. Para ello, es necesario determinar la luminancia de la zona de acceso L_{20} , la cual se define como la media de los valores de luminancia medidos en un campo de visión cónico, que subtiende un ángulo de 20° , por un observador situado en el punto de referencia y mirando hacia un punto centrado a una altura igual a una cuarta parte de la altura de la abertura del túnel, teniendo ésta gran trascendencia, porque es la que predetermina el nivel a obtener en el interior del túnel mediante al alumbrado de la zona umbral ($L_{th} = k \times L_{20}$). Dicha luminancia dependen de las condiciones atmosféricas de la zona donde se ubica el túnel, y corresponde a una longitud igual a la distancia de seguridad (DS).

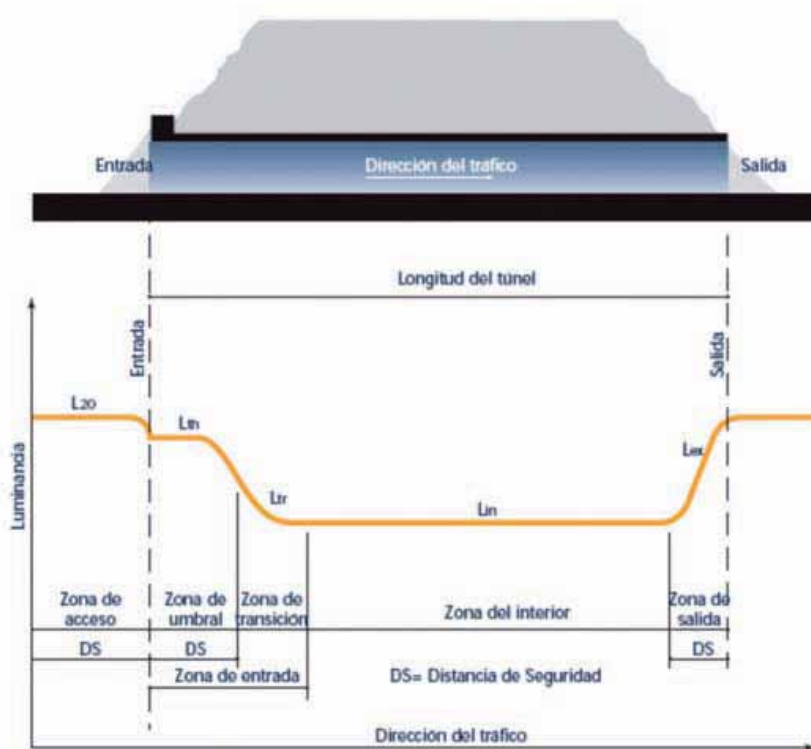


Figura 2.- Relación entre los niveles de luminancia exterior e interior

Por razones económicas, a la entrada de los túneles no es posible el establecer las condiciones de iluminación diurna existentes en el exterior que pueden alcanzar niveles muy elevados. Por lo tanto, el alumbrado deberá diseñarse para asegurar la visión de un obstáculo sobre la calzada en la zona de entrada. Como orden de magnitud, para una luminancia en la zona de acceso de 3.500 cd/m², un alumbrado simétrico y una distancia de seguridad de 100 metros, la relación entre el alumbrado de la zona de acceso y el alumbrado de la zona umbral puede oscilar entre el 2% al 6% menor en esta última zona. Asimismo, y manteniendo los mismos datos de referencia, cabría decir que la relación entre el alumbrado de la zona umbral y el alumbrado de la zona interna oscilaría del 5% al 15% también menor en esta última.

Como consecuencia de esta situación el coste (€/ml) de la inversión y del consumo es aproximadamente 15 veces menor en la zona interna que en la zona umbral.

El cálculo de la luminancia de la zona de acceso L₂₀ se puede determinar a partir de la siguiente expresión:

$$L_{20} = (\gamma \times l_c) + (\rho \times l_r) + (\epsilon \times l_e)$$

donde,

γ = % de cielo.

l_c = Luminancia de cielo.

ρ = % de carretera.

l_r = Luminancia de carretera.

ε = % de entorno.

l_e = Luminancia del entorno.

Para obtener los porcentajes de forma exacta, se puede realizar por medio de la fotografía, la cual está tomada a una distancia igual a la distancia de seguridad del portal del túnel. A continuación se muestra un ejemplo del resultado de lo expuesto anteriormente.

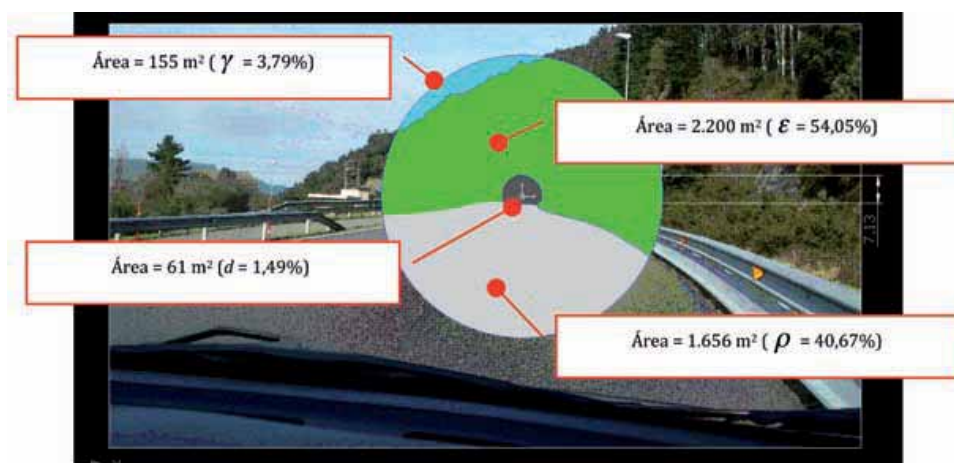


Figura 3.- Cálculo realizado por SOCELEC en el Túnel de IZTIÑA situados en la AP-8 (Guipúzcoa), DS aproximada 200 metros

Cuando no es posible determinar los valores de γ , ρ , y ε , se pueden calcular mediante los siguientes esquemas:



Figura 4.- Algunos de los esquemas para el cálculo de L20 (INDALUX)

c) Aspectos de viabilidad invernal en los accesos.

Otro de los aspectos que influyen en la seguridad en el exterior de los túneles, son las inclemencias meteorológicas. Hoy en día, todas las empresas explotadoras actúan bajo un mismo marco normativo hospiciano por la Administración, en la que con una organización “sencilla”, permite una rápida movilidad de personal y maquinaria. No obstante, en algunas ocasiones, este tipo de intervenciones se pueden planificar con poco tiempo, conllevando atascos circulatorios debidos a las condiciones extraordinarias existentes en la calzada. Estas situaciones anómalas, impiden la entrada rápida de las máquinas quitanieves.

Para paliar los efectos negativos de estas inclemencias meteorológicas, existen distintas técnicas de tratamientos preventivos y curativos. Una de estas medidas, es utilizar aspersores de fundentes químicos como tratamiento preventivo, los cuales, apoyados por un sistema periférico de detección de la temperatura de la calzada (sondas), envían la información a la unidad remota de adquisición de datos, y esta a su vez, emite una señal para la puesta en marcha del sistema de aspersión.

El sistema está compuesto por una estación de bombeo, el cual está formado por el agente fundente acopiado en depósitos de almacenamiento (la capacidad del mismo viene determinado por el número de elementos de aspersión), una bomba, y la unidad de control que gestiona todo el sistema. Esta estación de bombeo alimenta a una unidad de presión, que acumula el fundente bajo presión para su aspersión.

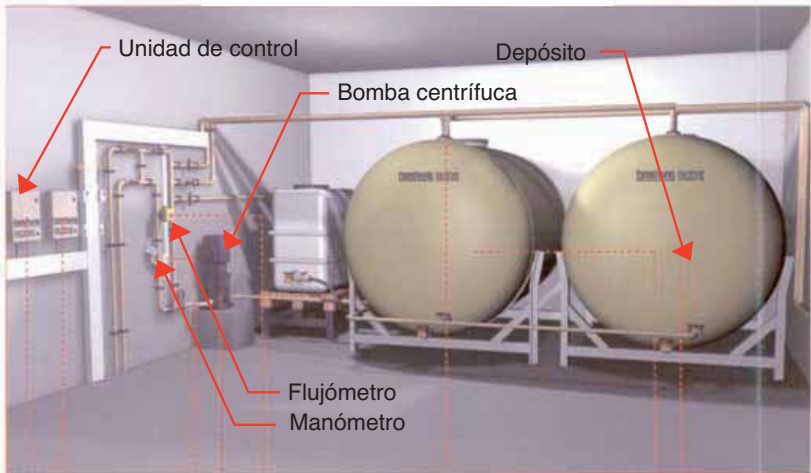
Por último en la calzada, está dispuesto el “disco” de aspersión integrada en la propia vía de circulación, o en los laterales con “cabeza” de aspersión. A continuación se expone una representación de un sistema de aspersión convencional. Lógicamente instalaciones de este tipo se justifican en zonas geográficas de clima extremo, como es el caso de los túneles de Somosierra ubicados en la A-1.



Figura 5.- Sistema de aspersión de fundente químico tipo TMS [BOSCHUNG]

ARQUITECTURA
DEL SISTEMA

ESTACIÓN DE BOMBEO



EQUIPO DE PRESIÓN



ELEMENTOS DE
ASPERSIÓN



Este sistema convencional, ya ha sido modificado y mejorado sobre todo desde el punto de vistas de las emisiones del fundente, ya que las mismas se emiten en pulverizaciones finas e invisibles a los usuarios de la vía, con ausencia de impacto visual al tráfico rodado. A continuación se expone una figura ilustrativa de este sistema.

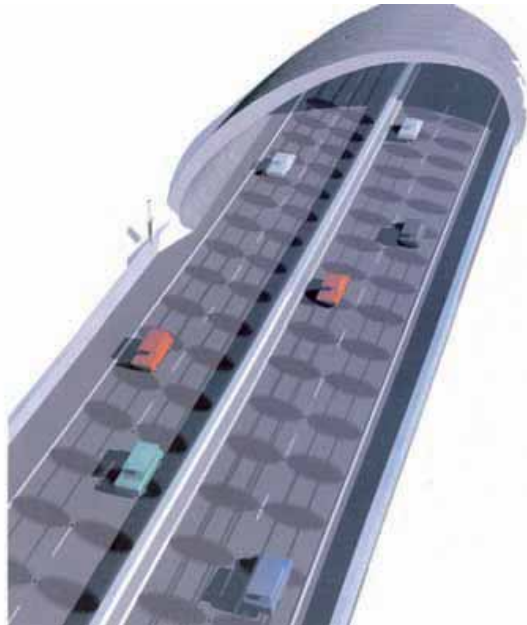


Figura 6.- Sistema de aspersión de fundente químico tipo MICRO-FAST [BOSCHUNG]

d) Equipamiento en los accesos.

El equipamiento de seguridad ubicado en la zona de acceso a los túneles cumple varios propósitos, siendo el fundamental el preservar la seguridad de los usuarios, prohibiendo el acceso a los túneles en determinadas situaciones de riesgo, o bien indicándoles las incidencias que pueden encontrarse en el transcurso de su recorrido.

Existen diferentes sistemas, y su disposición está regulada por la normativa de carreteras, que incluye la instalación de paneles de mensaje variable que permitan advertir e informar a los usuarios de la situación del tráfico en el interior del túnel, y también el equipamiento necesario para el cierre de la boca, constituido por barreras automáticas, paneles aspa flechas y semáforos bifocales y trifocales.

En aquellos túneles que lo requieren también están dotados de un sistema de control de gálibo, el cual deberá estar dispuesto en una zona tal que permita la salida por una vía alternativa del vehículo con exceso de altura.

Otros de los sistemas dispuestos en estas zonas, es el sistema de control de aforos que permite analizar el estado del tráfico desde dos puntos de vista, uno desde la

perspectiva de análisis de las variables de tráfico, arrojando datos de velocidad, intensidad, separación y longitud, y otro desde la perspectiva de la seguridad, detectando posibles incidencias y emitiendo las alarmas correspondientes de ocupación por vehículos parados, congestión, intromisión del sentido de tráfico, etc.

También forma parte de estos sistemas el circuito cerrado de TV, dotado de cámaras móviles que permiten abarcar el entorno de las bocas del túnel, y los sistemas fijos de señalización.



Figura 7.- Señalización de la zona de acceso en la Boca Sur de los Túneles del "Padrún", en la autovía A-66 (Asturias)

2. Similitudes conceptuales entre los túneles ferroviarios y los túneles carreteros. Experiencia recabada en los túneles de Guadarrama (Alta velocidad ferroviaria)

Un elemento esencial en el diseño, construcción y explotación de un túnel, es sin duda alguna su "Manual de Explotación"; que es el documento en el que se definen las condiciones y requisitos a cumplir, las actuaciones a llevar a cabo (tanto en condiciones normales como de emergencia) y los medios humanos y materiales necesarios para conseguir el nivel de seguridad deseado, en función de las características particulares de cada túnel.

Por lo tanto, con independencia del tipo de túnel, el objetivo del "Manual de Explotación" es mantener un adecuado nivel de seguridad durante la explotación; evitando en lo posible la aparición de situaciones de riesgo, favoreciendo el correcto funcionamiento de la obra civil e instalaciones de prevención y protección, mediante su adecuado mantenimiento, y minimizando las consecuencias adversas derivadas de un incidente o accidente.

Independientemente del tipo de tráfico, los túneles carreteros y ferroviarios tienen gran similitud en el tratamiento del “Manual de Explotación”, siendo uno de los documentos constitutivos del manual el “Plan de Operaciones” denominado así para los túneles carreteros o “Plan de Autoprotección” en los túneles ferroviarios.



Figura 8.- Documentos constitutivos del Manual de Explotación de los túneles de Guadarrama

Las primeras cuestiones de análisis son, ¿qué es el “Plan de Operaciones o de Autoprotección”? y ¿cuáles son sus objetivos?.

La definición de Autoprotección hace referencia a la prevención y protección de los riesgos inherentes a una actividad determinada, y obliga a incorporar las innovaciones tecnológicas necesarias y a adaptar la estructura de los recursos humanos a una forma de gestión integrada y unitaria a través de una comunicación adecuada, tanto interna (integración de gestión y coordinación), como externa (con los organismos competentes, con los operadores y con los usuarios).

Por lo tanto, el objeto del Plan de Autoprotección es la prevención y la planificación de las líneas de actuación en situaciones de grave riesgo, catástrofe o calamidad pública que pudieran presentarse en los túneles. Pretende establecer un conjunto de medidas internas y procedimientos de organización, así como los planes de actuación de organismos externos cuando la naturaleza y extensión del riesgo lo requieran.

Su ámbito de aplicación lógicamente, es el túnel y su entorno, incluidos los Centros de Control Técnico y de Tráfico asociados. La estructura propia de este documento es:

- i) Objetivos. Se definen los objetivos buscados por el “Plan de Autoprotección”, indicando al respecto la legislación utilizada para el desarrollo del mismo, y describiendo de forma breve la ubicación de los túneles y sus instalaciones.
- ii) Identificación de los titulares, de la actividad y del medio físico de los túneles.
- iii) Inventario, análisis y evaluación de riesgos. Definición de los elementos que pueden originar una situación de emergencia, evaluación de los riesgos propios y ajenos, personal de acceso a las instalaciones.
- iv) Medidas y medios de autoprotección. Medidas y medios de los titulares de la actividad y de los operadores.
- v) Plan de actuación ante emergencias. Identificación y clasificación de las emergencias, procedimientos de actuación, y personal y equipos de actuación (identificación y funciones).
- vi) Integración e implantación. Protocolos de notificación de las emergencias, coordinación con la dirección del plan de protección civil, y colaboración con el sistema público de protección civil. Responsable de la implantación del plan, programa de formación al personal sobre el plan de autoprotección, programa de información general para los usuarios, señalización y normas para la actuación de visitantes.
- vii) Mantenimiento y actualización. Programa de reciclaje de formación e información, ejercicios y simulacros, revisión y actualización de la documentación del plan, seguimiento y mejora continua de la seguridad, programa de auditorías e inspecciones.

Hoy en día, todas estas cuestiones se recogen en aplicaciones informáticas que permiten gestionar de forma rápida y eficiente cualquier incidencia que pueda presentarse, facilitando al técnico de sala un soporte adicional con una estructura para la gestión de incidencias en función de la operatividad que se recoge en el “Plan de Operaciones”.

Con la experiencia adquirida en estos 3 últimos años de aplicación del Real Decreto 635/2006, es oportuno efectuar mejoras, homogeneizar criterios, y detalles metodológicos, etc. para el desarrollo y tratamiento de los “Manuales de Explotación”, siempre adaptables a las particularidades de cada túnel. Es favorable un modelo de índice del “manual” o un prototipo de modelo de guía, adaptable a los diferentes casos, teniendo en cuenta las tres etapas de proyecto, obra y explotación, siendo esta última en la que realmente es aplicable.

Otro aspecto a tener en cuenta es la existencia de un mercado de equipos de diferentes marcas y características, con fundamentos de funcionamiento distintos que no suelen ser fácilmente comparativos y que condicionan la explotación, el almacenamiento de repuestos, la compatibilidad de software y hardware, etc. que agravan los trabajos para los técnicos que efectúan la explotación, control y mantenimiento, cuando éstos tienen un conjunto de túneles con excesiva disparidad de marcas de los equipos.