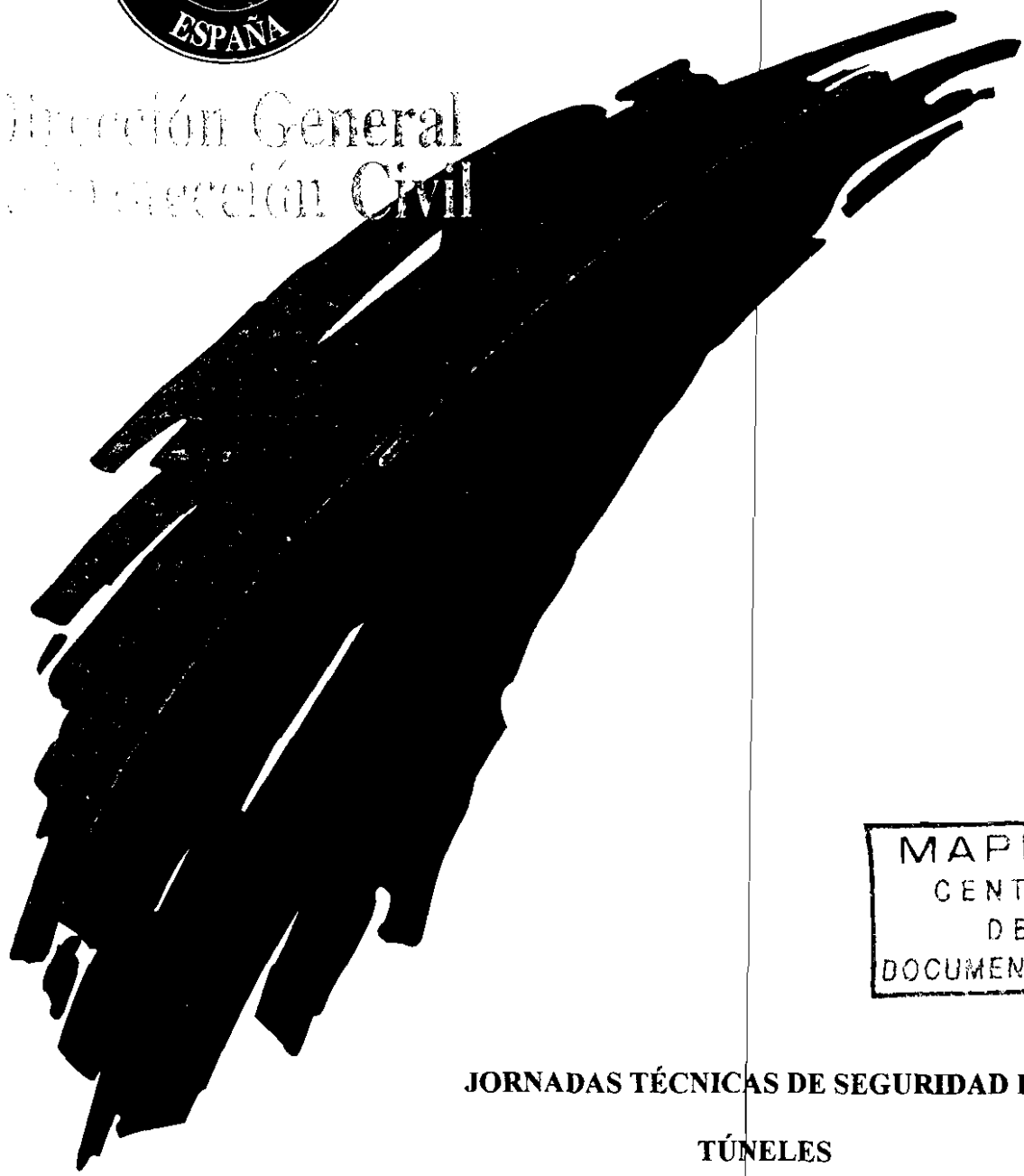


N. 33.822

D. 29.498



Dirección General
de Protección Civil

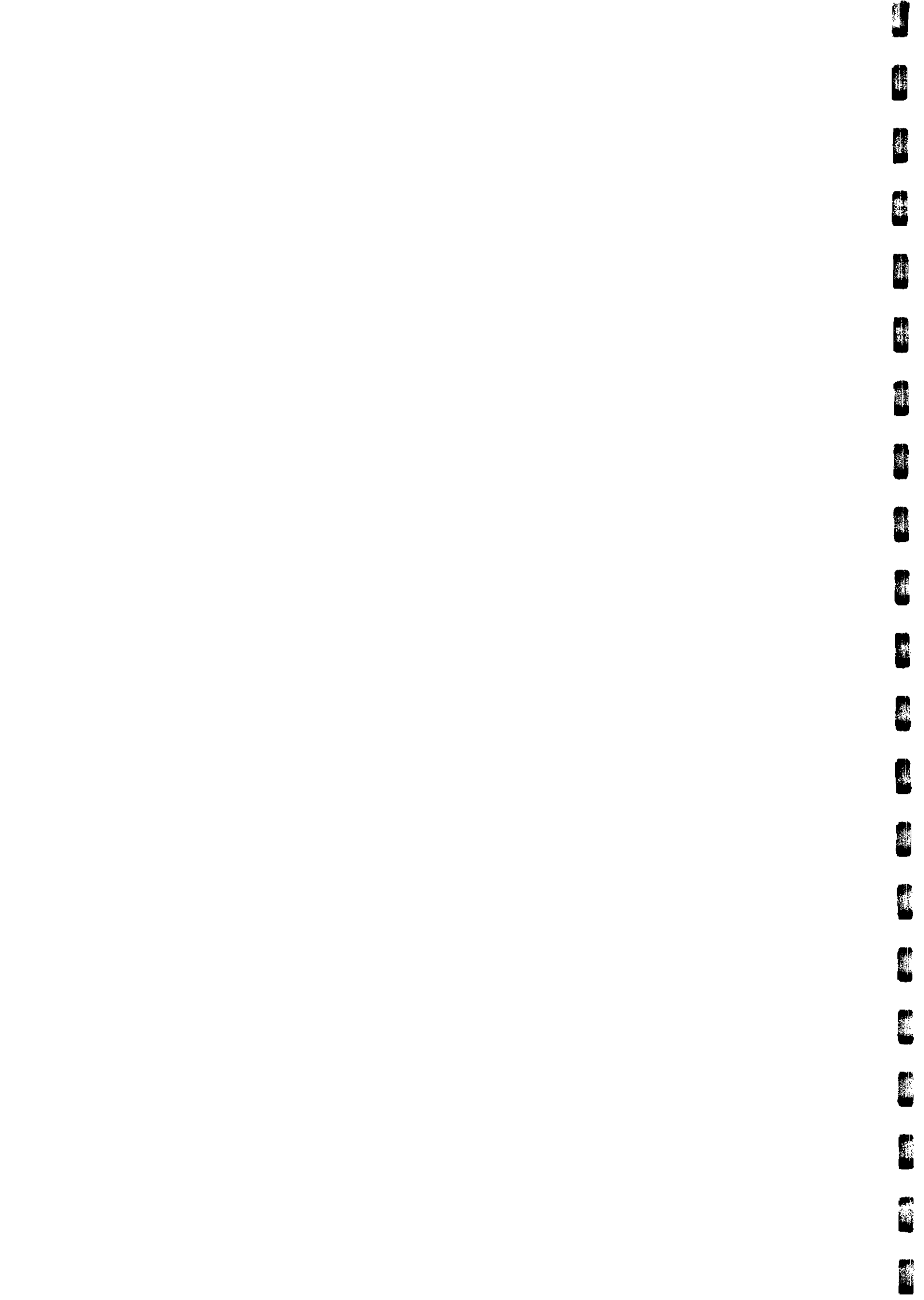


MAPFRE
CENTRO
DE
DOCUMENTACION

JORNADAS TÉCNICAS DE SEGURIDAD EN
TÚNELES

23-24 DE SEPTIEMBRE DE 1999

ESCUELA NACIONAL DE PROTECCION CIVIL







ORGANIZA:



**Dirección General
de Protección Civil**

Escuela Nacional de Protección Civil



MINISTERIO DEL INTERIOR

PATROCINA:



**Gestor de
Infraestructuras
Ferroviarias**

MINISTERIO DE FOMENTO

MAPFRE
CENTRO
DE
DOCUMENTACION



ÍNDICE

Ponencia 1

Seguridad en túneles de carretera. Normativa Técnica y Legal.

Ponente: D. Liberto Serret.

Ing. Caminos, Canales y Puertos.

Ponencia 2

Nuevas disposiciones legales en materia de seguridad de túneles.

Ponente: D. Jean Michelle Bergnault

Ingénieur au Bureau des Riques Batimentaires.

Ponencia 3

Actuación en la infraestructura de los túneles para mejorar la seguridad en la explotación.

Ponente: D. Rafael López Guarga.

Ing. Caminos, Canales y Puertos. Ministerio de Fomento.

Ponencia 4

Equipamiento necesario en los túneles para mejorar la seguridad en la explotación.

Ponente: D. Vicente Vilanova Martínez-Falero.

Ing. Caminos, Canales y Puertos. Ministerio de Fomento.

Ponencia 5

Seguridad en túneles ferroviarios.

Ponente: D. Antonio Gutiérrez Blanco.

Ing. Caminos, Canales y Puertos. Ministerio de Fomento

Ponencia 6

Explotación de los túneles de Guadarrama. Control y Gestión de incidentes.

Ponente: D. Juan Zamorano Martín.

Jefe de Viabilidad de Autopista A-6. Ibérica de Autopistas, CESA.

Ponencia 7

Explotación de los túneles de la autopista de Campomanes. Limitaciones de los sistemas de ventilación en situaciones de emergencia.

Ponente: D. José Ramón Álvarez-Hornia Suárez.

Responsable del área electromecánica dep. de instalaciones.
AUCALSA.



Ponencia 8

Explotación de túneles en autopistas T-4y A-32. Sistemas de seguridad. Especificaciones de seguridad en la construcción y mantenimiento.

Ponente: D. Ugo Jaliasse.

Director de explotación de autopistas T-4 y A-32. SITAF.

Ponencia 10

Problemática en las intervenciones del Cuerpo de Bomberos de la Comunidad de Madrid en los túneles de la región.

Ponente: D. Andrés Vieitez Martín.

Oficial del Cuerpo de Bomberos. Comunidad de Madrid.

Ponencia 11

El incendio en el túnel del Canal de la Mancha (Noviembre de 1997).

Ponente: D. Ian Muir.

Comandante del Cuerpo de Bomberos de Kent (Inglaterra).

Ponencia 12

El incendio en el túnel del Mont Blanc.

Ponente: Capitán Christian Comte

Teniente Emmanuel Vidal

Cuerpo de Bomberos de la Alta Saboya.

Ponencia 13

El incendio en el túnel del Mont Blanc.

Ponente: D. Elio Marlier.

Oficial de la Brigada para la Vigilancia del Fuego del Valle de Aosta.

Ponencia 14

El incendio en el túnel de Tauern en los Alpes (Mayo de 1999).

Ponente: D. Christoph Wegscheider.

Comandante del Cuerpo Bomberos de Insbruk.

ANEXO

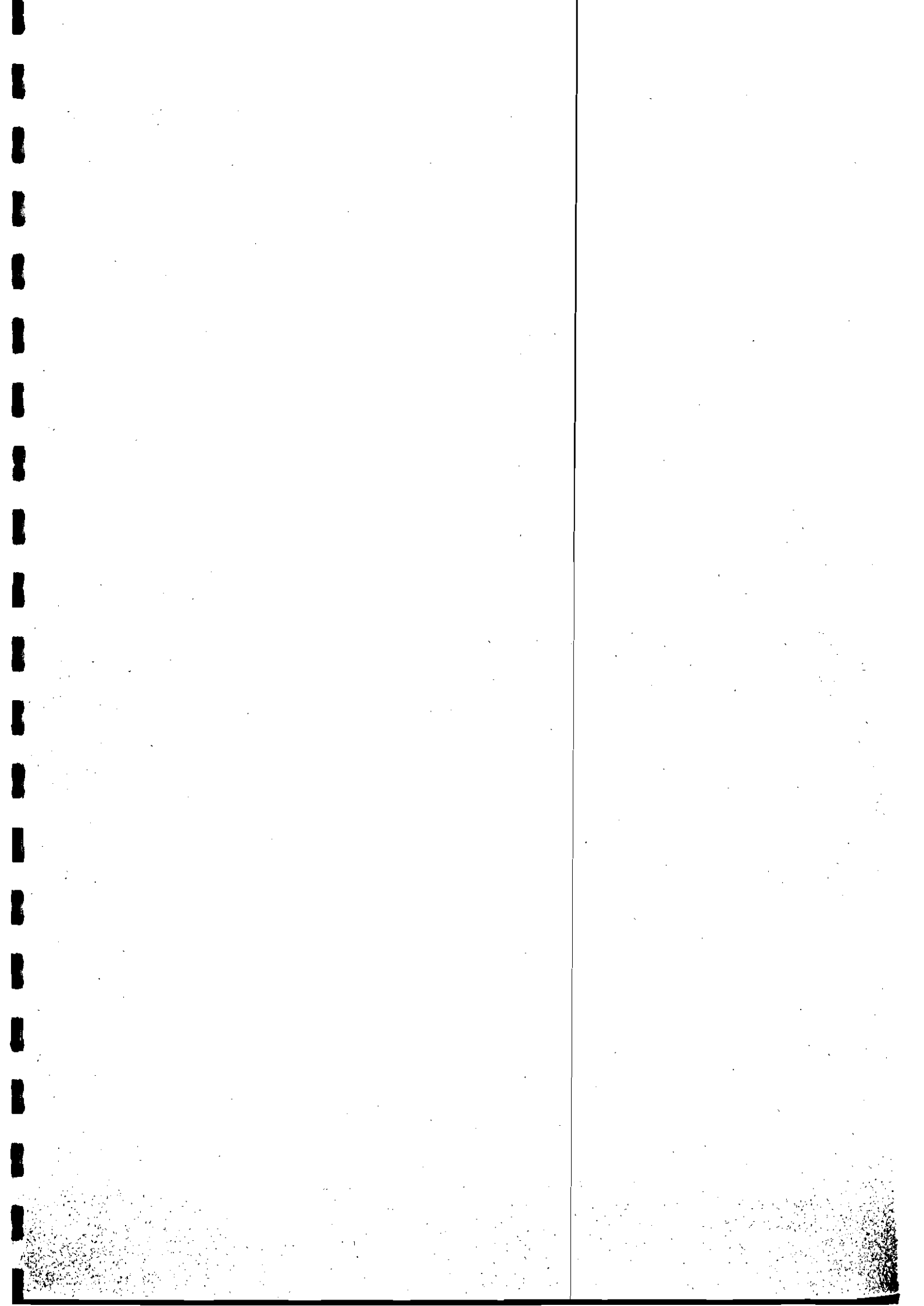
Orden 19 de Noviembre 1998.



**SEGURIDAD EN TÚNELES Y
CARRETERAS.
NORMATIVA TÉCNICA Y
LEGAL.**

LIBERTO SERRET

ING. CAMINOS, CANALES Y PUERTOS





| | |
|---|---|
| 1.1.- PROPÓSITO Y ACLARACIONES PREVIAS..... | 1 |
| 1.2.- ORGANISMOS INTERNACIONALES..... | 1 |
| 1.3.- ORGANISMOS NACIONALES..... | 3 |
| 1.3.1.1. Seguridad durante la construcción del túnel..... | 3 |
| 1.3.1.2. Seguridad en la explotación del túnel..... | 3 |
| 1.4.- SITUACIÓN ACTUAL..... | 5 |
| 1.5.- OPINIONES SOBRE QUÉ HACER..... | 5 |



1.1- PROPÓSITO Y ACLARACIONES PREVIAS

Antes de iniciar la breve exposición –necesariamente breve para ceñirse al tiempo fijado- conviene puntualizar su marco de referencia, precisando los siguientes puntos:

Solo enumeraré Organismos y normas técnicas que se refieren a la seguridad de circulación en los túneles de carretera, para lo cual he seleccionado los que he considerado como más interesantes y representativos. Describir una sola de estas normas nos llevaría horas, por lo que no entra en mi propósito el hacerlo.

Todas estas normas son exclusivamente técnicas y deben cumplirse en cada país para redactar un proyecto de túnel de carretera, si bien las recomendaciones de organismos internacionales pueden ser útiles para cualquier proyectista.

No conozco ninguna norma nacional que se refiera exclusivamente a la mejora de la seguridad en túneles en servicio y eso que es un tema, como veremos, muy importante y urgente.

Habida cuenta de que cuando se produce una emergencia grave en cualquier túnel tienen que intervenir diferentes organismos que pertenecen a distintas administraciones, es necesario redactar protocolos que, si bien son indispensables, no son propiamente normas técnicas, por lo que no hablaré de ellos.

Finalmente quiero destacar la oportunidad de estas jornadas, no sólo porque el tema de la seguridad en túneles tenga una dolorosa actualidad debida a los incendios recientes de los túneles del Montblanc y del Tauern, sino porque el diseño, construcción y explotación de los nuevos túneles lleva consigo una serie de innovaciones tales que ha cambiado por completo la panorámica general de los túneles viarios y es éste un tema que no lo he visto mencionado en los medios de difusión y debiera serlo, puesto que el comportamiento humano para adaptarse a la realidad de la circulación de hoy es fundamental para su seguridad, como bien se ha comprobado en los dos incendios mencionados.

1.2.- ORGANISMOS INTERNACIONALES

En primer lugar deben destacarse las recomendaciones que desde hace muchos años publica la actual Asociación Mundial de Carreteras, llamada hasta hace poco Asociación Internacional Permanente de los Congresos de Carreteras (AIPCR-PIARC). Los trabajos los realizan los profesionales que pertenecen a cada comité nacional de túneles de la AIPCR, parte de los cuales son miembros del comité internacional de túneles (C 5) que es quién publica los documentos y presenta las ponencias al congreso mundial que se celebra cada 4 años.



Las recomendaciones y trabajos sobre túneles empiezan a tener un importante contenido técnico a partir del congreso de Bruselas en 1987, continúan en el de Marrakech en 1991 y culminan en el de Montreal en 1995. En el de Kuala Lumpur, que se celebrará en octubre de este año, se presentarán trabajos muy interesantes, sobre todo a consecuencia de los incendios en los túneles del Montblanc y del Tauern.

Como documento aislado del Comité de Túneles de la AIPCR, no perteneciente a la documentación normal de los congresos mundiales, cabe destacar el de Clasificación de Túneles, donde se propone, por cada país, una serie de equipamientos de seguridad en función de las características principales de cada túnel, entre las cuales figuran si el túnel es de dos tubos, es decir, con circulación unidireccional en cada uno o de un tubo, con circulación bidireccional, si es interurbano o urbano y considerando también diversos escalones de longitud e intensidad media diaria de circulación (IMD), así como la proporción de vehículos pesados y la altura, ambos datos fundamentales para la determinación de las necesidades de ventilación para circulación normal. El caso importantísimo de mercancías peligrosas no tiene normativa internacional, por lo que cada país legisla la propia.

La documentación de la AIPCR fija características, niveles y fórmulas, para obtener, para cada túnel en concreto datos tan fundamentales como necesidades de iluminación, de ventilación, tanto en régimen normal de explotación como en emergencias.

Otro organismo internacional que ha dedicado bastante tiempo y trabajo al tema de los túneles es la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), mediante la celebración de congresos sobre túneles y la publicación de las ponencias. Cabe destacar el Seminario sobre la Gestión de Túneles de Carreteras, celebrado en Lugano en 1990.

Existe también la Asociación Internacional de Túneles (ITA).

No tengo conocimiento de que otros organismos internacionales, tales como la Unión Europea, la ONU o la Federación Internacional de Carreteras (IRF) hayan publicado documentos técnicos sobre la seguridad en túneles, aunque sí sé que en la Conferencia Europea de Ministros de Transportes (CEMT) ha habido contactos entre ministros después de los dos incendios de los túneles del Montblanc y el Tauern, con vistas, sobre todo, a tomar medidas acerca de las mercancías peligrosas que circulan por determinados corredores internacionales de la Unión Europea.

Razonablemente, en un futuro próximo, la Comisión Europea publicará alguna directiva acerca de la seguridad en los túneles, situados dentro de la Red Transeuropa de Carreteras (TERN).



1.3.- ORGANISMOS NACIONALES

1.3.1 ESPAÑA

Cada país miembro de la AIPCR tiene un comité nacional de túneles y concretamente España lo tiene en la sede de la Asociación Técnica de Carreteras. En España, al igual que en otros países, existe la Asociación Española de Túneles y Obras Subterráneas (AETOS), miembro, a su vez de la internacional ITA.

En cuanto a la normativa técnica en España hay que mencionar la siguiente:

1.3.1.1. Seguridad durante la construcción del túnel

-Ley de Prevención de Riesgos Laborales (31/1995).

-Real Decreto 1627/1997.

Ambas normas regulan la seguridad laboral durante todo el proceso constructivo y no parece que existan vacíos legales, aunque todo es perfectible.

1.3.1.2. Seguridad en la explotación del túnel

Con fecha 1 de Diciembre de 1998 se publica en el Boletín Oficial del Estado la Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Obras Subterráneas para el Transporte Terrestre (IOS98), redactada por el Ministerio de Fomento y que, como su título indica, regula la redacción del Proyecto, todo el proceso de la fase de construcción y la explotación del túnel, abarcando tanto los túneles de carreteras como los ferroviarios.

1.3.1. OTROS PAÍSES

Los países con más experiencia, sobre todo en grandes túneles, con mayor normativa y más antigua, son los países alpinos, concretamente Francia, Suiza, Italia, Austria y Alemania. A ellos se pueden añadir, como miembros activos en el comité de túneles de la AIPCR, Holanda, Suecia, Noruega, USA y Japón.

Todos ellos han participado en la elaboración del documento "Classification des Tunnels", editado por la AIPCR y referido a los túneles de carreteras. En este documento cada país fija, como dijimos al principio, una serie de equipamientos de seguridad, tanto estructurales como con aparatos, con vistas a aumentar los medios para luchar contra situaciones de emergencia en los túneles de carreteras.



No obstante, el mismo documento precisa que sería muy difícil conseguir una normativa de equipamientos de seguridad para emergencias en túneles de carreteras que fuera aceptada internacionalmente, entre otras razones porque cada túnel en concreto tiene una serie de particularidades que lo convierten en único y como tal debe ser equipado.

A continuación enumero una serie de normas nacionales que considero importantes y útiles

FRANCIA

"Directive relative aux dispositions et equipements de securité dans les tunnels routiers". DRSTRIOPER

Fue publicada el 20-12-96, tiene 36 páginas y está dedicada exclusivamente a medidas y actuaciones para situaciones de emergencia en los túneles de carreteras, mediante equipamientos, tanto estructurales como con aparatos.

Es curioso manifestar que ya figuran en dicha norma una serie de actuaciones a realizar en caso de incendio para regular adecuadamente, tanto la ventilación como la extracción de humos, que fueron aplicadas por parte francesa en el incendio del túnel del Montblanc. Desgraciadamente no se hizo lo mismo en la parte italiana.

ALEMANIA

"Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Strassentunneln"
RABT

Fue publicada el 13-6-94, tiene 34 páginas, dedicadas, igual que la francesa a todos los equipamientos y actuaciones de seguridad, con profusión de cifras, tablas y fórmulas.

AUSTRIA

"Project Guidelines" RVS.9280 y RVS.9281

Tiene 24 páginas y trata sobre el mismo tema.

JAPÓN

"Road Tunnel Technology in Japan" ISSN 0386-5878



Fue publicada en octubre de 1991, incluye las fases de proyecto, construcción y explotación y consta de 86 páginas.

1.4.- SITUACIÓN ACTUAL

El incendio en el túnel del Montblanc, el 24 de marzo de 1999, ha aumentado radicalmente la percepción de riesgos en los túneles, tanto por parte de los usuarios como de las administraciones implicadas.

El incendio ocurrido en el túnel del Tauern (Austria) poco después, no hizo sino remachar la gran alarma suscitada.

Tanto Francia e Italia como Austria se están planteando la regulación estricta e incluso la prohibición del paso de camiones con mercancías peligrosas en los grandes túneles alpinos e incluso las restricciones a la circulación de camiones en días concretos, tales como fines de semana o vacaciones.

A mi entender, no hay que olvidar las dos catástrofes pero tampoco dramatizarlas más de lo que ya son.

Los expertos y las administraciones sabían los riesgos que pueden haber en los túneles, que pueden llegar a ser gravísimos pero que son más infrecuentes que a cielo abierto. Prueba de ello es que todos los documentos y normas mencionados son anteriores al incendio del túnel del Montblanc.

A nivel del Comité C-5 de túneles de la AIPCR, manifestó su presidente, Mr. Marec, en una conferencia que ha dado en el Colegio de Ingenieros de Caminos de Madrid, que van a estudiar una serie de medidas adicionales para aumentar la seguridad frente a los incendios, tales como ampliar de 2 a 4 horas la resistencia al fuego y los humos en las cámaras presurizadas, pero no hay que precipitarse, ya que los bomberos muertos en la cámara presurizada del Montblanc no se hubiesen salvado si la cámara hubiese resistido 4 horas en vez de 2, puesto que el incendio duró más de dos días.

1.5.- OPINIONES SOBRE QUÉ HACER

A nivel exclusivamente personal, sugiero las siguientes líneas de actuación que me consta, además, que ya están estudiándose, a nivel de carreteras, en España.

Los túneles que no tengan protocolo para la coordinación de actuaciones de emergencia entre las administraciones implicadas, deberían tenerlo cuanto antes, para lo cual convendría firmar un protocolo general, con directrices para redactar los protocolos para cada túnel que lo necesite.



Una vez firmado cada protocolo, hay que nombrar una comisión y un Director del Plan de Emergencia, que redactarán dicho Plan de Emergencia y fijarán los participantes y sus cometidos, en función de la importancia de cada túnel.

Si la importancia del túnel lo requiere, deberán realizarse ejercicios y simulacros de accidentes graves, como incendios.

Es conveniente ampliar la normativa actual con vistas a fijar niveles de riesgos y los equipamientos mínimos necesarios, teniendo en cuenta las características más significativas de los túneles y su riesgo, distinguiendo claramente qué se va a exigir para los proyectos de nuevos túneles, qué se va a exigir para los túneles actualmente en construcción, en función de la fase en que se encuentren y qué equipamientos se exigirán o recomendarán en los túneles en servicio.

La mejora de los túneles en servicio es un tema sobre el que la Dirección General de Carreteras está trabajando. Me consta que los equipamientos con aparatos, en la red de carreteras del Estado, son, en general, suficientes y en bastantes túneles tenemos más equipamientos que los que suelen recomendar los mejores países para longitudes e intensidades de circulación determinadas. El problema surge con los equipamientos estructurales, tales como nichos para postes SOS, aparcamientos para vehículos, galerías para escape de personas y de vehículos, cámaras presurizadas, comunicación entre tubos o evacuación de mercancías peligrosas.

La instalación de cualquiera de ellos en un túnel en servicio, sobre todo si su circulación es elevada, puede plantear problemas presupuestarios y de molestias a los usuarios de tal magnitud que lo hagan inviable. Aún así se estudiará caso por caso y en su defecto se estudiarán medidas alternativas. No olvidemos que el túnel del Montblanc es bidireccional y no tiene galerías de escape y no piensan hacerlas, salvo decisiones políticas con una inversión muy elevada.

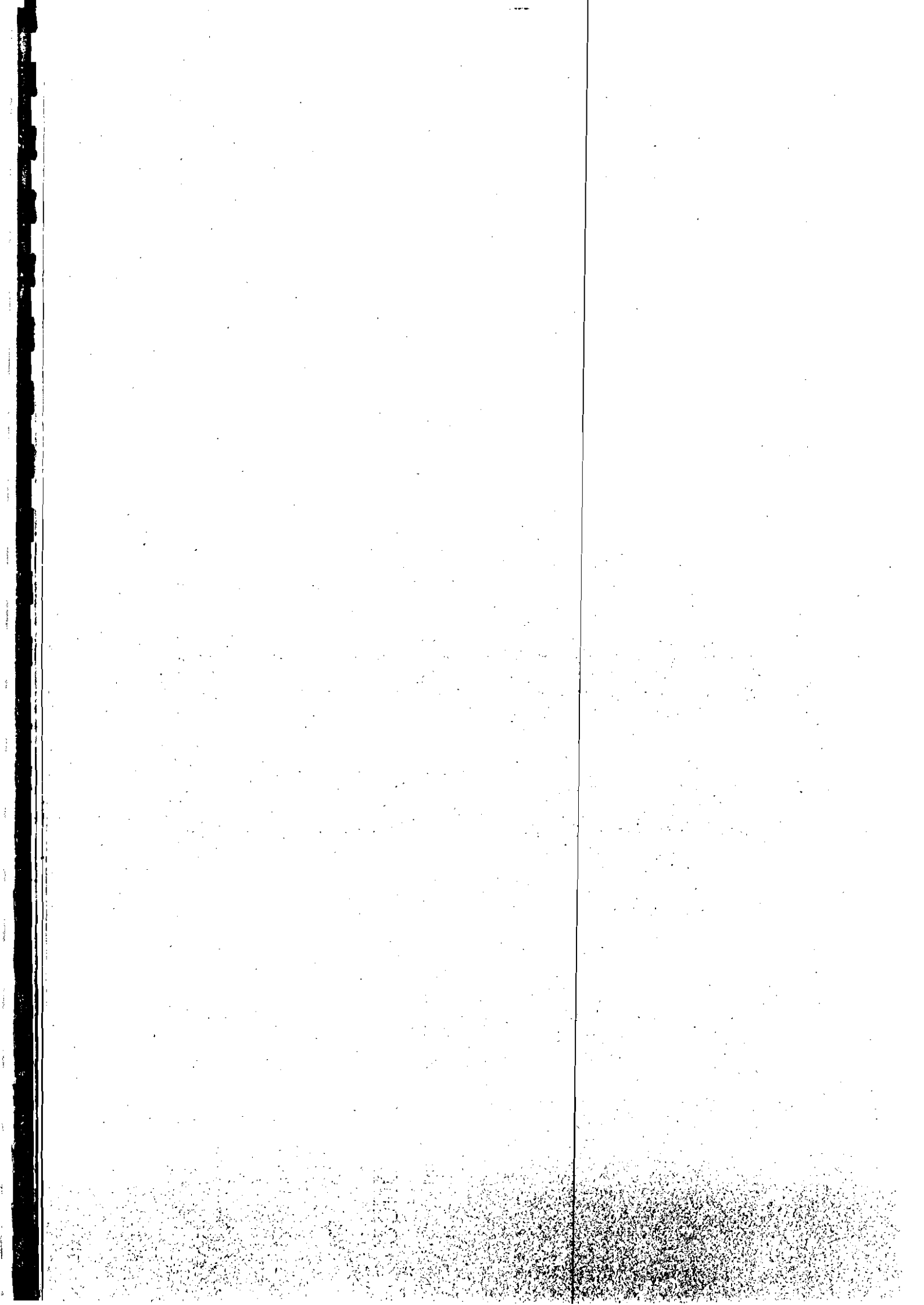
En conclusión, pienso que el tiempo apremia, sobre todo después del incendio del Montblanc, por lo que conviene redactar nuevas normas o ampliar las actuales pero sabiendo y valorando de antemano que la seguridad es siempre cara en cualquier actividad humana y más aún cuando se intenta acumentar la existente, lo que nos lleva al eterno dilema "seguridad versus recursos disponible".



**NUEVAS DISPOSICIONES
LEGALES EN MATERIA DE
SEGURIDAD DE TÚNELES**

JEAN MICHELLE BERGNAULT

**TENIENTE CORONEL DEL CUERPO DE
BOMBEROS DE PARÍS
ENCARGADO DE LAS MISIONES DE
SEGURIDAD DE INFRAESTRUCTURAS
MINISTERIO DEL INTERIOR**

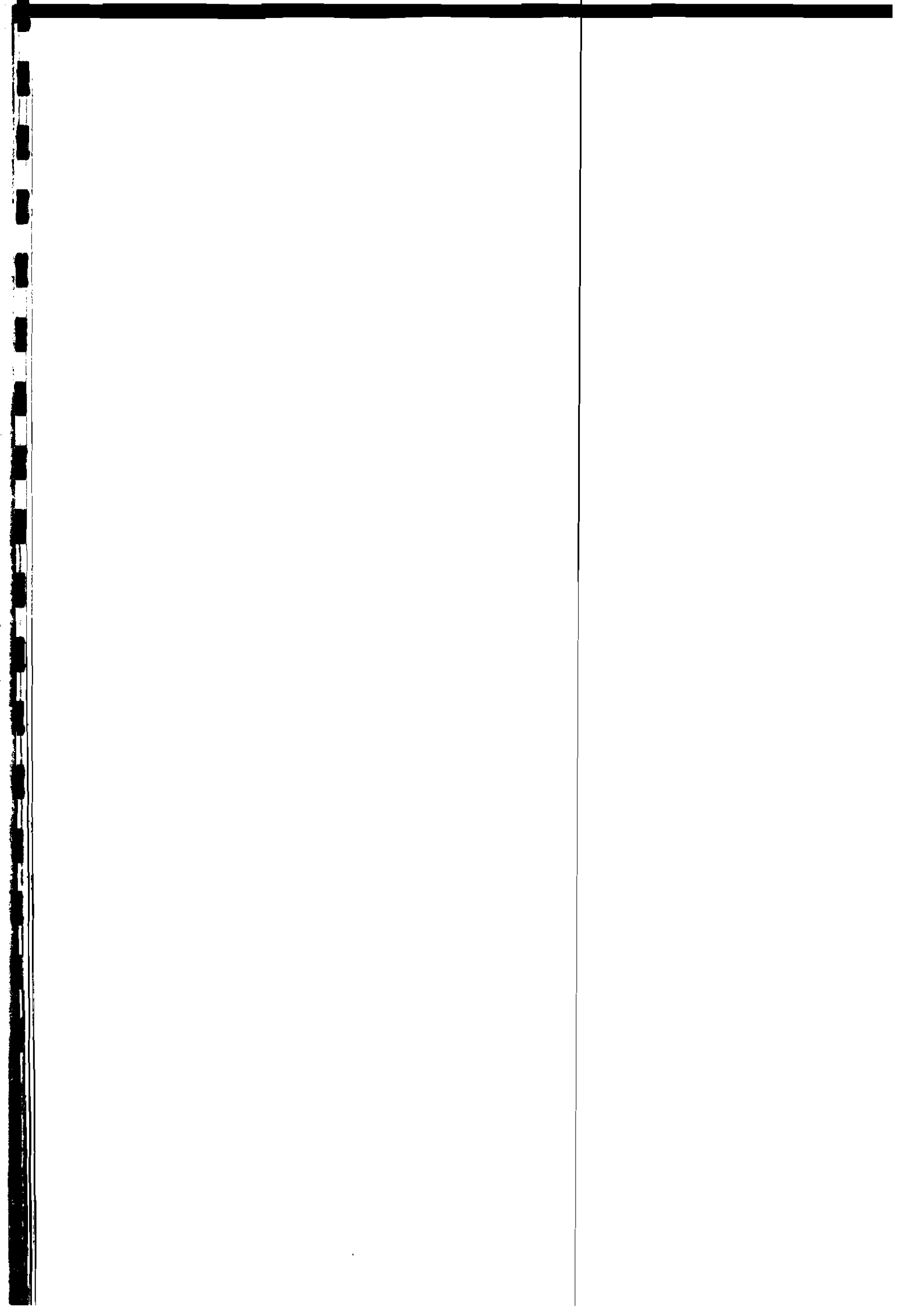


POURQUOI RÉGLEMENTER LA SÉCURITÉ DANS LES TUNNELS

- Les projets se multiplient
- Faute de règles reconnues, les solutions sont déterminées au cas par cas
 - Les discussions sont longues et compliquées
(ex : T.G.V. Méditerranée)
 - Risque d'obtenir des solutions onéreuses et non optimales
- C'est souvent la règle du « toujours plus » qui tend à s'appliquer

DONC :

- ➔ Nécessité de disposer au plan national de recommandations
- ➔ établies par les administrations compétentes
- ➔ après recueil de l'avis des principaux exploitants et gestionnaires d'infrastructure



CHAMP D'APPLICATION

- tunnels nouveaux
- 400 m < L < 10 km
- ne s'applique pas si L > 5 km et si autoroute ferroviaire
- recommandé pour tunnels réhabilités
- mesures allégées si 400 < L < 800 m

CLASSIFICATION

Type d'exploitation

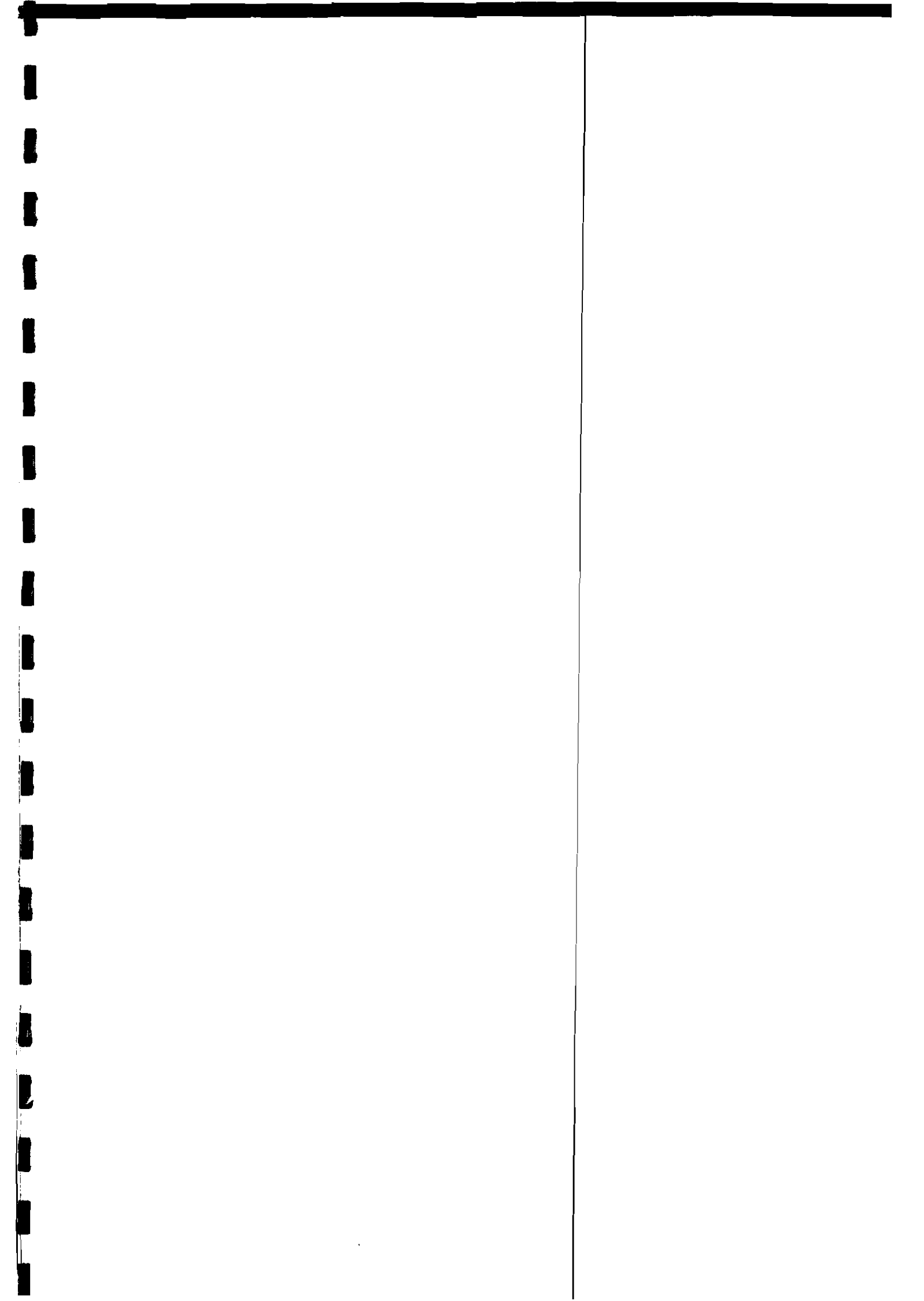
- lignes urbaines
- lignes à voyageurs
- lignes à trafic mixte

Longueurs seuil

- 400 m
- 800 m
- 5 km
- 10 km

AUTRES DÉFINITIONS

- matériels modernes
- matériels modernisés
- matériels standard
- trains de marchandises dangereuses



OBSERVATIONS PRÉALABLES

- les tunnels ne créent pas d'accident spécifique
- le confinement de l'espace peut aggraver considérablement les conséquences d'un accident (panique, fumée, chaleur...)
 - l'arrivée des secours est plus difficile
 - l'événement le plus redouté est l'incendie

PRINCIPES DIRECTEURS

- fixer des objectifs et non des moyens
- laisser un maximum de possibilités aux concepteurs
- n'exclure aucune conception (ex : tunnels monotubes à double voie)
- permettre une complémentarité entre dispositions constructives et mesures d'exploitation

OBJECTIFS DE SÉCURITÉ

Principe de base en France en matière de sécurité ferroviaire = GAMAB

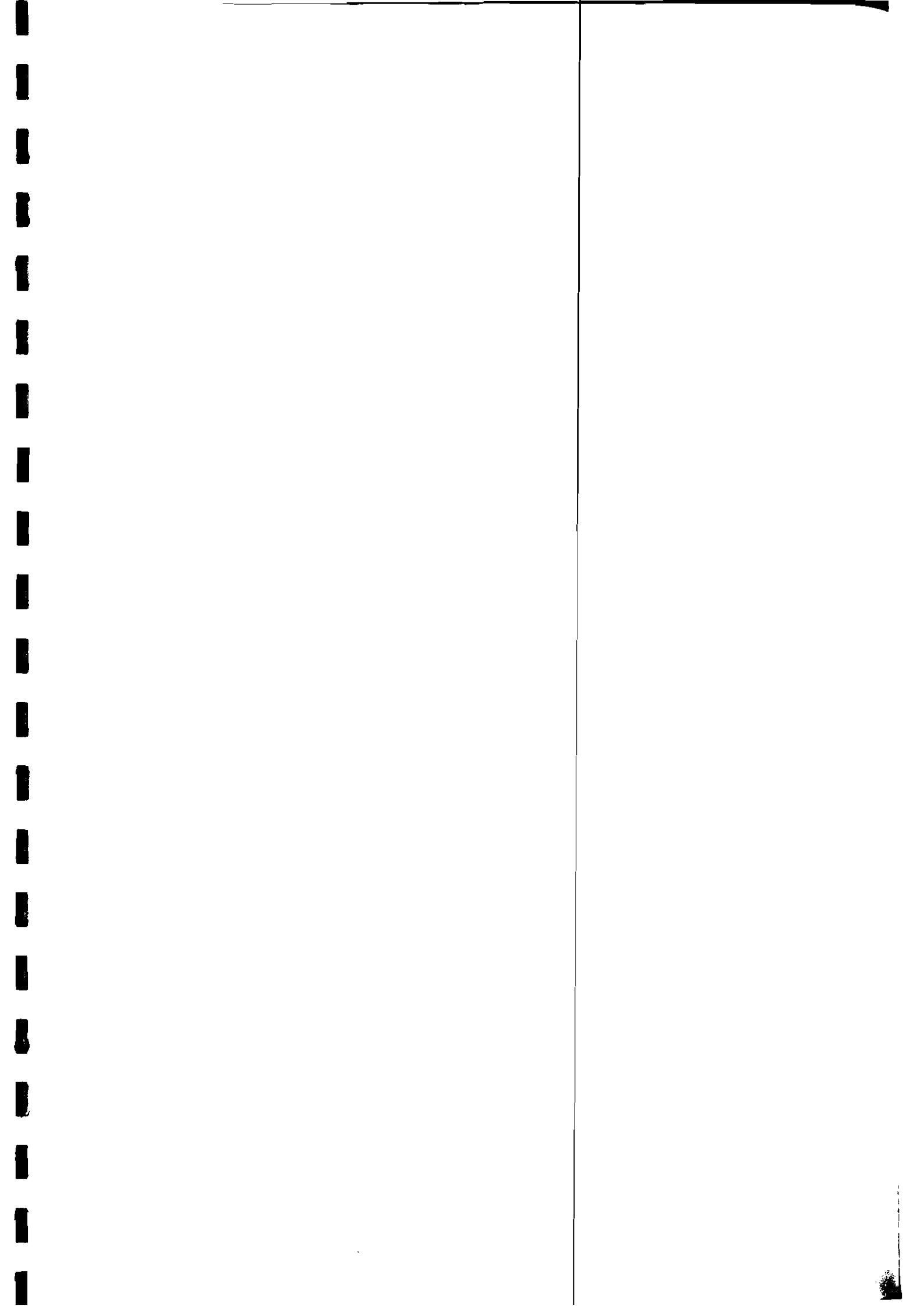
En l'espèce : le niveau de sécurité offert dans les tunnels doit être au moins égal à celui constaté en section courante

Pour atteindre cet objectif, trois voies ont été suivies :

██████████ : mesures pour diminuer la probabilité d'occurrence d'un incident

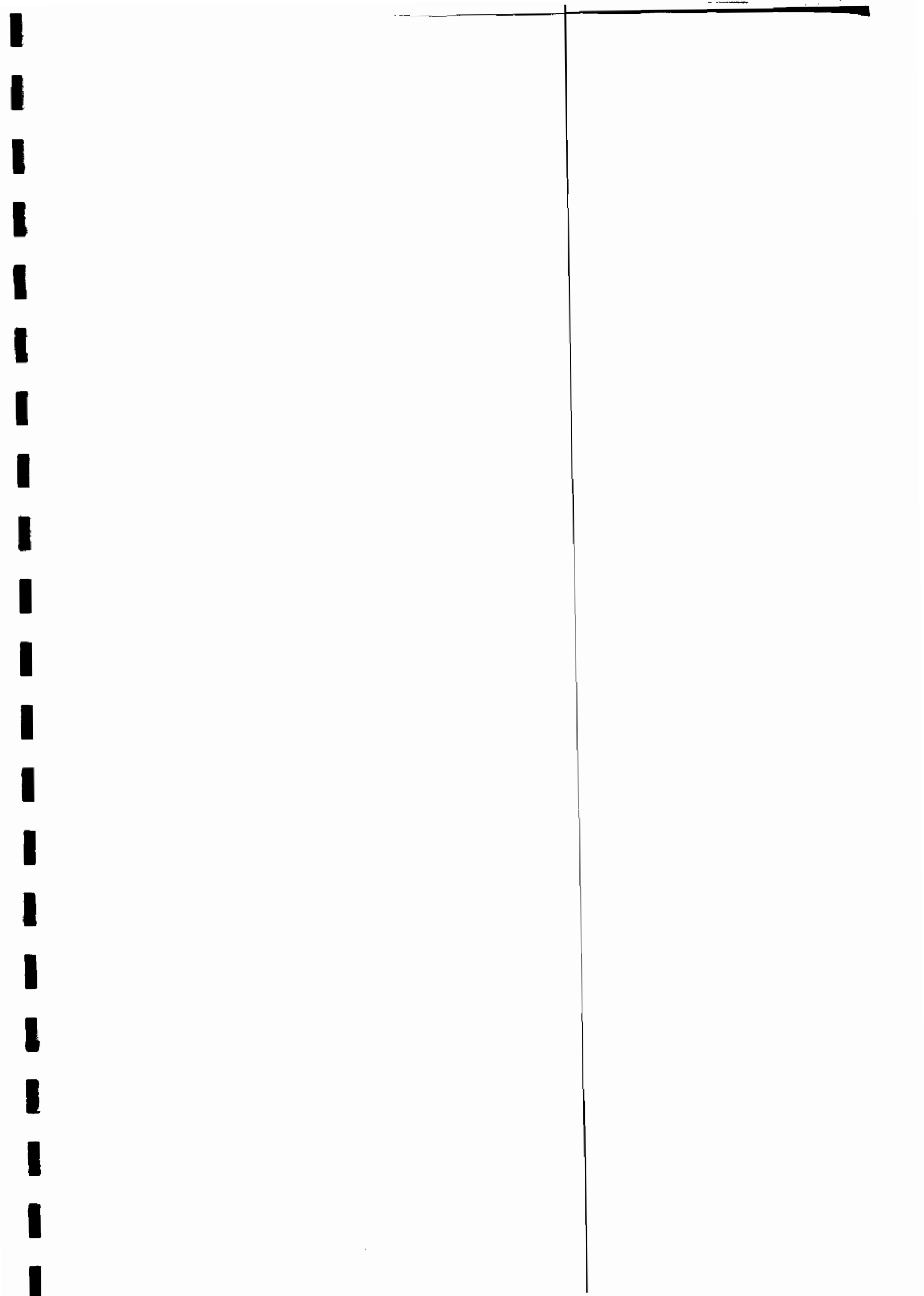
██████████ : mesures pour limiter les conséquences d'un incident

██████████ : mesures pour permettre l'évacuation des personnes et faciliter l'arrivée et la mise en œuvre des secours



DISPOSITIONS COMMUNES - 1/2

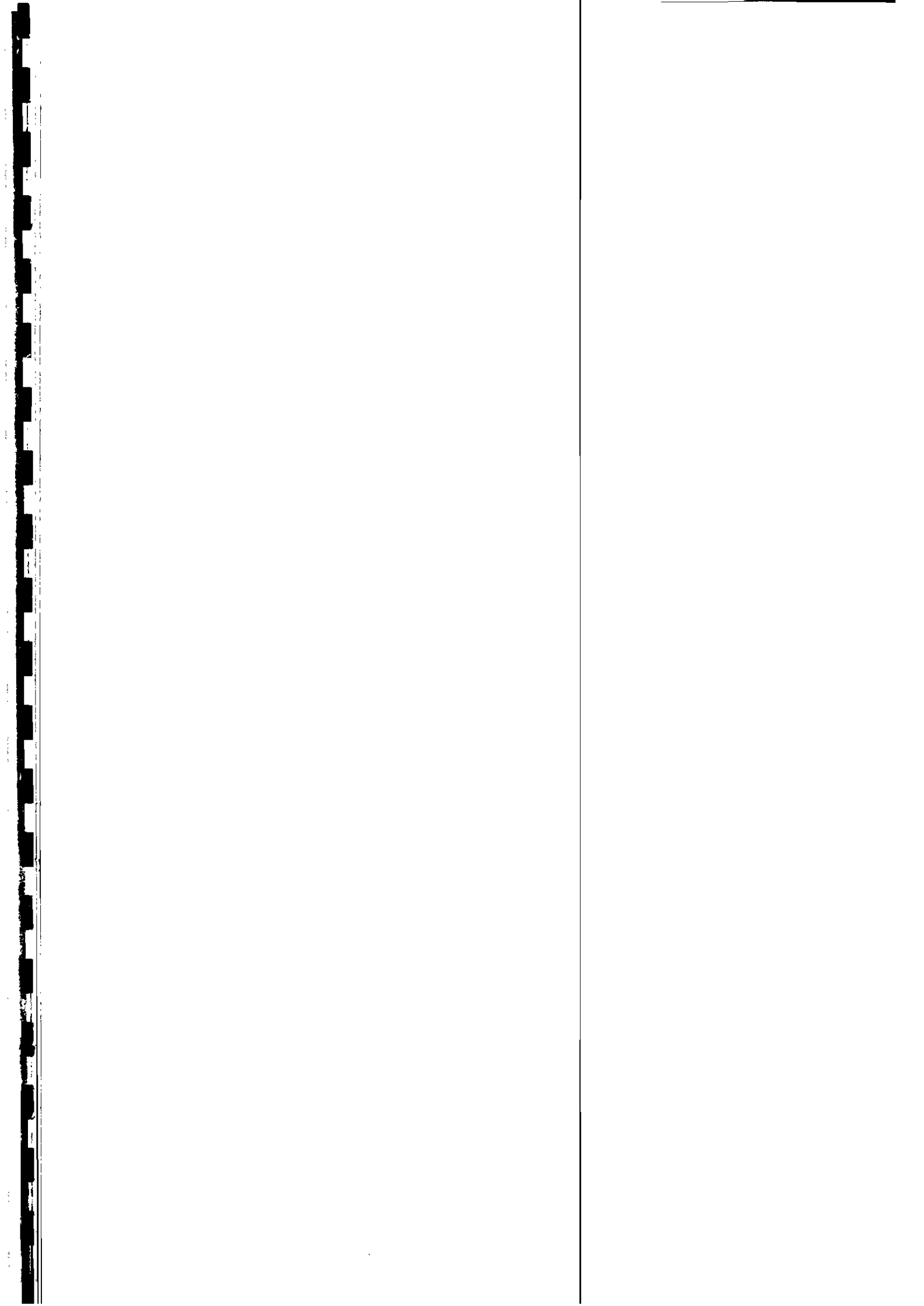
- Chap.II : Réaction, résistance au feu (gros œuvre, structures principales et secondaires, conduits de ventilation et locaux techniques...) - @
- 3.1.1 : Accès routiers et parking en tête de tunnel - @
- 3.1.2 : Cheminement (trottoir l=0,7m et h=2 m + main courante ou radier) - @
- 3.1.3 : Mise en sécurité des agents de maintenance (niches...) - @
- 3.2.1 : Alimentation électrique : secourue ou double alimentation et protégée (équipements dédiés aux services de secours) - @
Prises électriques pour les secours (240/400 V - 3P+N+T) tous les 200m de chaque côté en quinconce - @
- 3.2.2 : Eclairage normal et de sécurité (mini 2 lux en tout point au niveau du sol) pour cheminements usagers et accès des secours - @
- 3.2.3 : Signalisation éclairée tous les 100m pour repérage des issues et de leur éloignement - @



DISPOSITIONS COMMUNES - 2/2

- 3.2.4 : Alimentation en eau d'incendie - colonne sèche ou en eau morte - @
Si pas possible (tunnels de rase campagne notamment) installation en charge - @
- 3.2.5 : Télécommunications de secours (liaisons filaires téléphoniques ou continuité réseau hertzien communications services de secours)
- 3.2.6 : Anneaux de relevage si nécessaire, fonction de la technique retenue par l'exploitant - @
- 3.2.7 : Anneaux de rappel - @
- 3.3.1 : Liaison sol / train - @
- 3.3.2 : Contrôle de vitesse et de rattrapage (KVB ou TVM) - @
- 3.3.3 : Lorrys freinés à disposition des services de secours

@ : Tunnels $400m < L < 800m$ + désenfumage sur lignes urbaines (4.2)



DISPOSITIONS PARTICULIÈRES- 1/2

- 4.1.1 : Dispositifs d'assainissement - $L > 5\text{km}$ + TMD - Collecteur/50m avec siphon coupe feu - 100l/sec.- Rétention 80m^3 (+ eaux de ruissellement)
- 4.1.2 : Accès secours lignes urbaines - $L > 800\text{m}$ - Interdistance $< 800\text{m}$ - $l = 1,40\text{m}$ - $H = 2,2\text{m}$ - Sas surpressé - Volume tampon 25m^2 - Eclairage - Colonne sèche - Commande surpression sas - $15\text{m} < P < 28\text{m}$ = puits descente matériel - $P > 28\text{m}$ = ascenseur
- 4.1.3 : Evacuation des usagers : autre train - Si bitube (hors lignes urbaines) ou si galeries de sécurité, galeries de communication $l = 2,4\text{m}$ tous les 800m et portes CF 2h00 - indépendance aéraulique tubes et galeries de sécurité
- 4.1.4 : Aire poser d'hélicoptère : Si zone défavorable (accès difficile...)
- 4.1.5 : Dispositif anti recyclage des fumées : si bitube
- 4.2 : Désenfumage : lignes urbaines, $L > 5\text{km}$ + TMD - $V > 1,5\text{m}^2$ - Ventilateurs $200^\circ\text{C}/2\text{h}00$, groupes de 2 moteurs - Commande prioritaire services de secours



DISPOSITIONS PARTICULIÈRES- 2/2

- 4.3.1 : Limitation/séparation des activités voyageurs et fret :
Lignes urbaines et à voyageurs = Séparation
Lignes mixtes motubes double voie :
 - l<5km = limitation des croisements voyageurs et MD
 - l>5km = interdiction des croisements voyageurs et MD
- 4.3.2 : Matériels roulants :
 - Matériels standard interdits si l>5km + pas de désenfumage
- 4.3.3 : Circulation secours en tunnel :
 - Engin de maintenance ou manoeuvre ou rail route si l>5km
- 4.3.4 : Organisation du retour en arrière :
 - Dispositions ferroviaires pour ne pas emprisonner un train sain avec un train en détresse
- 4.3.5 : Détecteurs de boîtes chaudes :
 - Sur lignes mixtes et à voyageurs, elles sont disposés de façon qu'un train n'entre pas en tunnel avec une boîte chaude

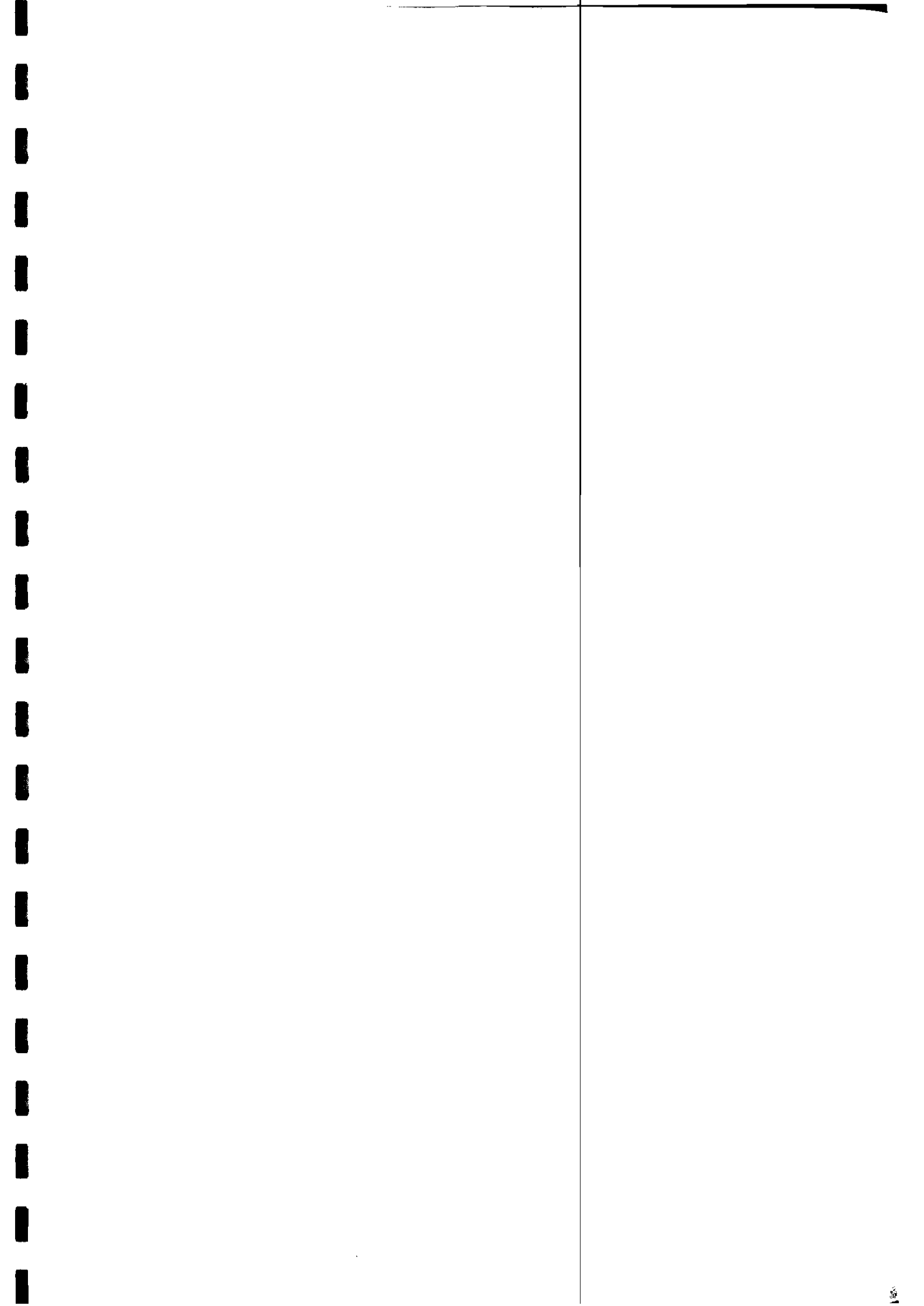


MATÉRIELS ROULANTS

- Trains de voyageurs
- Motricité multiple
- Extincteurs : motrices et voitures
- Classement au feu et à la fumée (matériaux constitutifs des voitures et des appareils électriques) : NF F 16-101 ; NF F 16-102 ; NF F 16-103
- Détection échauffement anormal engin moteur avec arrêt automatique équipement en cause
- Système d'alarme voyageur sans freinage d'arrêt irréversible automatique
- Sonorisation pour messages aux passagers

- Tous points matériels modernes sauf quelques dispositions NF 16-101 et NF 16-102

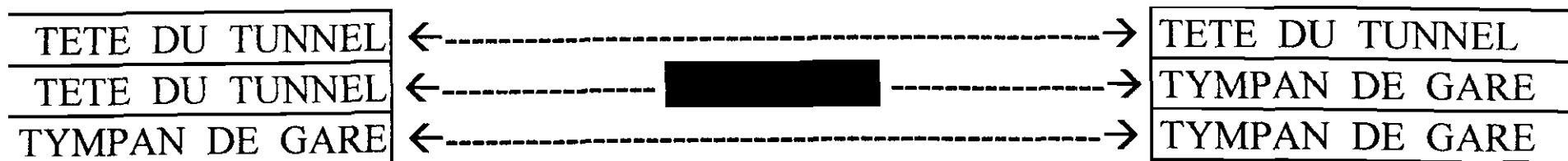
- Matériels ne répondant pas aux spécifications des matériels modernes ou modernisés.

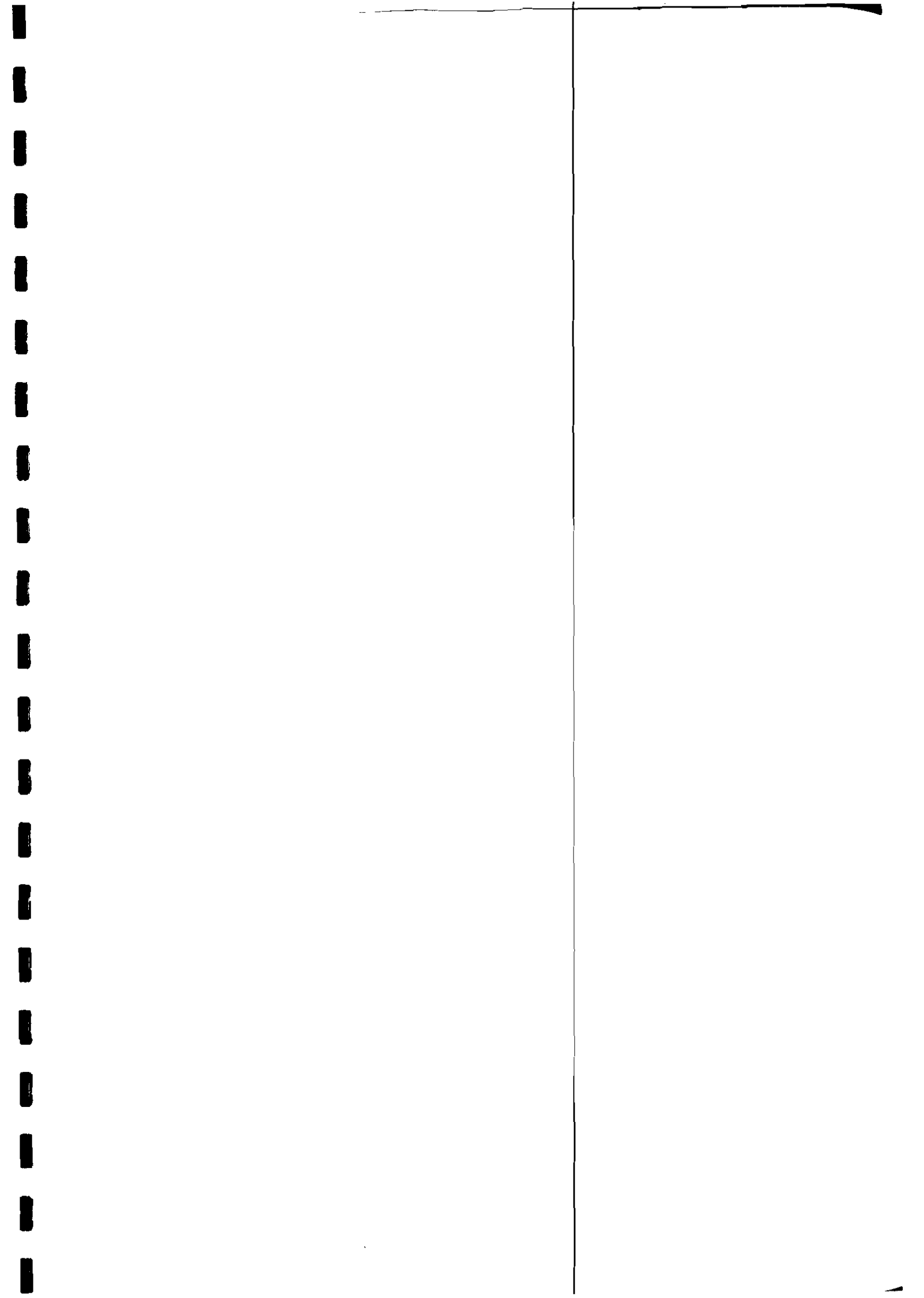


TUNNEL 1/2

- **CONSTRUCTION** : Ouvrages couverts quel que soit le mode de construction
 - Ouvrages creusés ou immergés
 - Tranchées couvertes
 - Couvertures acoustiques
 - Semi couvertures si ouverture continue $< 1/5$ de la surface du radier, etc...

- **EXPLOITATION** :





CONFIDENTIEL 2/2

• [REDACTED]

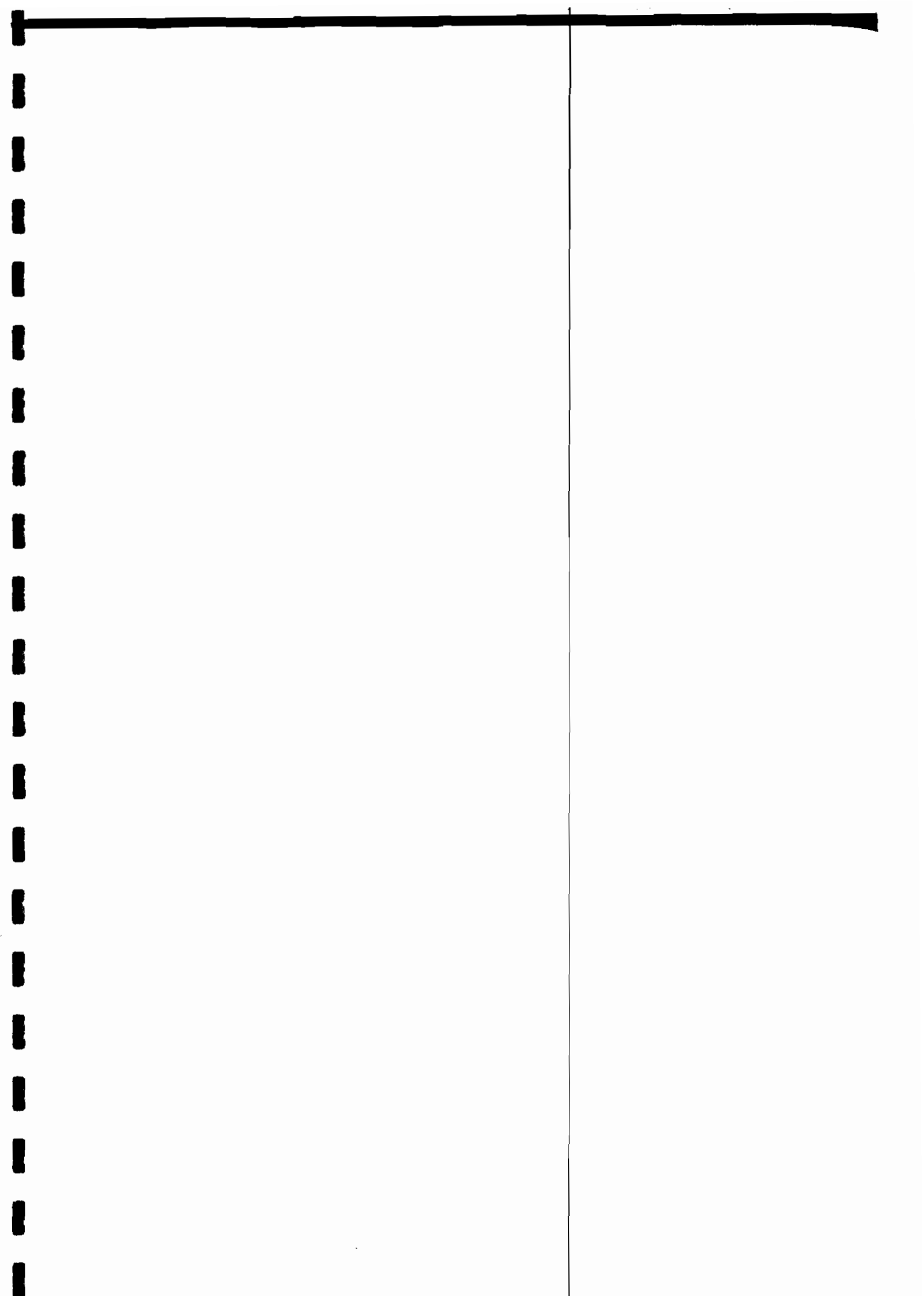
- Milieu urbain / péri urbain - Transport des voyageurs - Pas de trains de fret
- Trafic et nombre de voyageurs très supérieur aux lignes mixtes ou à voyageurs
en raison des migrations journalières de population
(métro, banlieue, réseau express régional...)

• [REDACTED]

- Trafic mixte composé de trains de voyageurs et de trains de fret

• [REDACTED]

- Ligne non urbaine - Pas de trains de fret
- Trains de voyageurs modernes ou modernisés



MARCHANDISES DANGEREUSES

• [REDACTED]

Si au moins 1 wagon au sens du RID

• [REDACTED] **ENTIER** [REDACTED]

Si au moins 10 wagons au sens du RID





**MINISTÈRE
DE L'INTERIEUR**

**DIRECTION DE LA DEFENSE
ET DE LA SECURITE CIVILES**

**MINISTÈRE DE L'EQUIPEMENT,
DES TRANSPORTS
ET DU LOGEMENT**

DIRECTION DES TRANSPORTS TERRESTRES

**INSTRUCTION TECHNIQUE
INTERMINISTERIELLE
RELATIVE A LA SECURITE
DANS LES TUNNELS FERROVIAIRES**

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25



| | |
|--|-----------|
| 2.1 PREAMBULE | 3 |
| 2.2 CHAPITRE I CHAMP D'APPLICATION-DEFINITIONS..... | 4 |
| 2.2.1. - CHAMP D'APPLICATION..... | 4 |
| 2.2.2. - DÉFINITION DES TUNNELS..... | 4 |
| 2.2.3. - CLASSIFICATION DES TUNNELS..... | 5 |
| 2.2.4. - AUTRES DÉFINITIONS..... | 5 |
| 2.2.4.1. - <i>Lignes urbaines</i> : | 5 |
| 2.2.4.3. - <i>Lignes à voyageurs</i> :..... | 6 |
| 2.2.4.4. - <i>Matériel roulant</i> : | 6 |
| 2.2.4.5. - <i>Marchandises dangereuses</i> | 7 |
| 2.3 CHAPITRE II REACTION ET RESISTANCE AU FEU | 7 |
| 2.3.1. - RÉACTION AU FEU | 7 |
| 2.3.2. - RÉSISTANCE AU FEU | 7 |
| 2.3.2.1. - <i>Résistance au feu des structures principales</i> | 8 |
| 2.3.2.1.1. - <i>Tunnels creusés ou immergés et tranchées couvertes</i> | 8 |
| 2.3.2.1.2. - <i>Tunnels intégrés à une structure en béton habitée ou occupée</i> | 8 |
| 2.3.2.1.3. - <i>Tunnels autorisés au transit des matières dangereuses</i> | 8 |
| 2.3.2.1.4. - <i>Couvertures légères</i> | 9 |
| 2.3.2.2. - <i>Résistance au feu des structures secondaires</i> | 9 |
| 2.3.2.2.1. - <i>Faux-plafonds et parois séparant des conduits de ventilation</i> | 9 |
| 2.3.2.2.2. - <i>Locaux techniques et stations de ventilation</i> | 9 |
| 2.4 CHAPITRE III DISPOSITIONS COMMUNES..... | 10 |
| 2.4.1. - GÉNIE CIVIL | 10 |
| 2.4.1.1. - <i>Accès routier et parking en tête de tunnel</i> | 10 |
| 2.4.1.2. - <i>Cheminement</i> | 10 |
| 2.4.1.3. - <i>Mise en sécurité des agents de maintenance</i> | 11 |
| 2.4.2. - EQUIPEMENTS GÉNÉRAUX DE SÉCURITÉ | 11 |
| 2.4.2.1. - <i>Alimentation électrique</i> | 11 |
| 2.4.2.2. - <i>Eclairage</i> | 12 |
| 2.4.2.3. - <i>Repérage des issues et de leur éloignement</i> | 12 |
| 2.4.2.4. - <i>Alimentation en eau d'incendie</i> | 12 |
| 2.4.2.4.1. - <i>Tunnels en milieu urbain ou périurbain</i> | 12 |
| 2.4.2.4.2. - <i>Tunnels de rase campagne</i> | 13 |
| 2.4.2.5. - <i>Communications pour les services de secours</i> | 13 |
| 2.4.2.6. - <i>Relevage</i> | 13 |
| 2.4.2.7. - <i>Anneaux de rappel</i> | 13 |
| 2.4.3. - EQUIPEMENTS DE SÉCURITÉ FERROVIAIRE..... | 14 |
| 2.4.3.1. - <i>Liaison sol-train</i> | 14 |
| 2.4.3.2. - <i>Système de contrôle de vitesse</i> | 14 |
| 2.4.3.3. - <i>Lorrys</i> | 14 |
| 2.5 CHAPITRE IV DISPOSITIONS PARTICULIÈRES..... | 14 |
| 2.5.1. - GÉNIE CIVIL | 14 |
| 2.5.1.1. - <i>Système d'assainissement</i> | 14 |
| 2.5.1.2. - <i>Dispositifs d'accès des secours pour les tunnels sur lignes urbaines</i> | 15 |
| 2.5.1.2.1. - <i>Équipement</i> | 15 |
| 2.5.1.2.2. - <i>Équipement complémentaire</i> | 16 |
| 2.5.1.3. - <i>Évacuation des voyageurs</i> | 16 |
| 2.5.1.4. - <i>Aire de poser pour hélicoptère</i> | 17 |
| 2.5.1.5. - <i>Dispositif anti-recyclage des fumées aux têtes de tunnel</i> | 17 |
| 2.5.2. - VENTILATION, DESENFUMAGE..... | 17 |



| | |
|---|----|
| 2.5.3. - EQUIPEMENTS OU DISPOSITIONS DE SÉCURITÉ FERROVIAIRE | 18 |
| 2.5.3.1. - <i>Limitation séparation des activités voyageurs et fret</i> | 18 |
| 2.5.3.2. - <i>Matériel roulant</i> | 18 |
| 2.5.3.3. - <i>Circulation des secours en tunnel</i> | 18 |
| 2.5.3.4. - <i>Organisation du retour en arrière</i> | 19 |
| 2.5.3.5. - <i>Détecteurs de boîtes chaudes</i> | 19 |



2.1 PREAMBULE

Les tunnels ferroviaires ne créent pas d'accidents spécifiques (hormis ceux résultant de l'effondrement de leur structure). Ils sont en général équipés d'installations simples (absence de passage à niveau notamment) et l'ouvrage en lui-même constitue une protection vis-à-vis de certains événements extérieurs, comme la chute d'obstacle par exemple. Le risque en tunnel provient en réalité de l'aggravation potentielle de tout incident critique, incendie notamment, du fait du confinement de l'espace qui peut rendre délicats l'évacuation des voyageurs et l'accès des secours extérieurs.

Les récents projets et études aussi bien urbains (région parisienne et province) que lignes nouvelles à grande vitesse mettent en évidence le besoin d'une doctrine de sécurité pour la conception des tunnels nouveaux.

Les dispositions de la présente instruction technique visent plusieurs objectifs fondamentaux :

- limiter la probabilité d'occurrence d'un incident,
- détecter les situations anormales et assurer les communications avec l'extérieur (équipements de surveillance et de détection, signalisation, radio sol-train etc...),
- se prémunir et lutter contre l'incendie,
- permettre la protection et, en cas d'incident, l'évacuation des personnes (voyageurs, personnel) et l'accès des secours.

A cette fin, elle définit les dispositions constructives et d'exploitation ainsi que les équipements de sécurité des nouveaux tunnels nécessaires pour atteindre ces objectifs. Les maîtres d'ouvrage ont toutefois la possibilité, en fonction des caractéristiques propres à chaque projet, de soumettre des propositions alternatives qu'ils estimeraient fonctionnellement équivalentes et économiquement meilleures. Ces soumissions éventuelles, dûment justifiées, doivent recevoir l'aval de la Direction de la Défense et de la Sécurité Civiles et de la Direction des Transports Terrestres.

Le chapitre I précise le champ d'application, classe les tunnels en fonction de différents paramètres et donne les principales définitions.

Le chapitre II fixe les exigences en matière de réaction et de résistance au feu des infrastructures.



Le chapitre III arrête les dispositions communes à tous les types de tunnel; celles-ci concernent le génie civil et les équipements de sécurité (ferroviaires ou non).

Pour les mêmes domaines, le chapitre IV, enfin, aborde les dispositions particulières adaptées à chaque cas d'espèce.

2.2 CHAPITRE I CHAMP D'APPLICATION- DEFINITIONS

2.2.1. - CHAMP D'APPLICATION

La présente instruction technique concerne les tunnels ferroviaires nouveaux dont la longueur totale est supérieure à 400 mètres et inférieure à 10 km.

S'agissant des tunnels neufs dont la longueur est comprise entre 400 m et 800 m, seules les dispositions du chapitre II, des paragraphes 3.1.1. à 3.1.3., 3.2.1. à 3.2.3., 3.2.4.1., 3.2.6., 3.2.7., 3.3.1. et 3.3.2., ainsi que celles du paragraphe 4.2. pour les tunnels sur lignes urbaines, sont applicables.

Les ouvrages exceptionnels de plus de 10 km de longueur, ou les ouvrages de plus de 5 km de longueur acceptant le transit de convois d'autoroute ferroviaire, ne rentrent pas dans le champ d'application de la présente instruction technique. Le schéma général de sécurité et le niveau d'équipement de ces infrastructures sont traités par des commissions ad-hoc, nationales ou internationales.

Les dispositions de la présente instruction technique ne concernent pas les tunnels qui seraient utilisés exclusivement par des trains de fret.

S'agissant des tunnels anciens faisant l'objet d'une réhabilitation, la faisabilité des dispositions de la présente instruction technique sera examinée au cas par cas.

2.2.2. - DÉFINITION DES TUNNELS

On entend par longueur la distance comprise entre les têtes de tunnel, ou une tête de tunnel et le tympan d'une gare ou station souterraine, ou entre les tympans de deux gares ou stations souterraines consécutives.

On entend par tunnel nouveau un tunnel qui n'a pas encore fait l'objet d'un avant projet sommaire (APS) approuvé ou en cours d'instruction à la date de parution de la présente instruction technique.



Sont considérés comme tunnels pour l'application de la présente instruction technique tous les ouvrages couverts, quel que soit leur mode de construction : tunnels creusés ou immergés, tranchées couvertes, couvertures acoustiques, semi-couvertures présentant une surface d'ouverture continue vers l'extérieur inférieure au cinquième de la surface du radier.

La présence d'installations étrangères à la destination première de l'ouvrage (canalisations ou lignes de transport de fluides ou d'énergie, par exemple hydrocarbures, gaz, énergie électrique sous tension supérieure à celle de la traction des trains...) nécessite des études et éventuellement des dispositions particulières.

2.2.3. - CLASSIFICATION DES TUNNELS

Les tunnels ferroviaires sont classés selon deux critères :

- le type d'exploitation,
- la longueur.

Les types d'exploitation suivants sont considérés:

- lignes urbaines,
- lignes mixtes,
- lignes à voyageurs.

Les seuils de longueur considérés sont les suivants : 400 m, 800 m, 5 km, et 10 km.

2.2.4. - AUTRES DÉFINITIONS

2.2.4.1. - Lignes urbaines :

Implantées en milieu urbain ou périurbain et dédiées au transport des voyageurs (et éventuellement au transport de marchandises en dehors des plages horaires réservées aux voyageurs) , il s'agit des lignes communément appelées lignes de banlieue, métro, réseau express régional... et sur lesquelles le trafic et le nombre de voyageurs transportés sont notablement supérieurs aux lignes mixtes ou à voyageurs en raison des migrations journalières de population.



Il s'agit des lignes supportant un trafic mixte composé de trains de voyageurs et de trains de fret pouvant comprendre des matières dangereuses.

2.2.4.3. - Lignes à voyageurs:

Il s'agit des lignes, autres que les lignes urbaines, parcourues par des trains de voyageurs modernes ou modernisés, ou des trains de fret spécialement conçus comme le TGV postal par exemple.

Elles peuvent être éventuellement parcourues par des trains de fret en dehors des plages horaires réservées aux voyageurs.

2.2.4.4. - Matériel roulant :

On entend par matériel "moderne", les trains de voyageurs :

- respectant les normes NF F 16-101, NF F 16-102 et NF F 16-103 notamment en matière de classement au feu et à la fumée des différents matériaux constitutifs des voitures et des appareils électriques, et d'équipement en extincteurs portatifs,

- dotés d'une motricité multiple et, pour les matériels autres que ceux assurant des services sur ligne urbaine, d'un système permettant :

- . le signalement en cabine de conduite, ou au poste de contrôle s'il s'agit d'un système automatique, de tout échauffement anormal dans un engin moteur,

- . le déclenchement de l'arrêt automatique de l'équipement en cause, les autres éléments moteurs restant en service afin de permettre au train de poursuivre son trajet jusqu'à l'air libre ou une gare ou station si la détection se déclenche en tunnel,

- équipés d'un système d'alarme voyageurs ne provoquant pas automatiquement un freinage d'arrêt irréversible, mais au contraire permettant au conducteur, ou au personnel du centre de contrôle s'il s'agit d'un système automatique, de poursuivre ou de reprendre rapidement la marche, si rien ne s'y oppose par ailleurs, jusqu'à l'air libre ou une gare ou station si l'alarme est déclenchée en tunnel,

- munis d'un système de sonorisation permettant au personnel d'exploitation de diffuser des messages aux passagers.



Les matériels roulants voyageurs ne répondant à aucune des deux définitions précédentes sont désignés par le terme de « matériel standard ».

2.2.4.5. - Marchandises dangereuses

On entend par train de marchandises dangereuses un train comportant au moins un wagon chargé de ces marchandises, au sens de l'arrêté du 06 décembre 1996 relatif au transport des marchandises dangereuses par chemin de fer (dit "arrêté RID").

On entend par train entier de marchandises dangereuses un train ne relevant ni du lotissement, ni du transport combiné, et comportant au moins dix wagons chargés de ces marchandises.

2.3 CHAPITRE II REACTION ET RESISTANCE AU FEU

Les dispositions suivantes s'appliquent à tous les ouvrages tels que définis au point 1.1.

2.3.1. - RÉACTION AU FEU

Les matériaux de construction du gros oeuvre du tunnel sont classés M0 du point de vue de la réaction au feu au sens des dispositions de l'arrêté du 30 juin 1983 modifié.

Les matériaux constituant les couvertures légères et les matériaux de revêtement en plafond sont également classés M0. Des panneaux classés M1 sont admis en revêtement latéral. Le classement M1 est aussi admis pour les éléments translucides d'une couverture légère tels que les lanterneaux.

De plus, les éléments classés M1 doivent également être classés F1 au sens des normes NF F 16-101 et NF F 16-102.

2.3.2. - RÉSISTANCE AU FEU

Selon le type de tunnel envisagé, la résistance au feu de la structure et des éléments de construction est justifiée par calculs ou essais pour des expositions au feu représentées :

- par la courbe température-temps normalisée (ISO 834), dans les conditions mentionnées dans la partie 2.2 " Actions sur les structures

exposées à un incendie de l'Eurocode 1 - Bases de la conception et des actions sur les structures ",

- par la courbe hydrocarbure mentionnée dans le même Eurocode.

2.3.2.1. - Résistance au feu des structures principales

2.3.2.1.1. - Tunnels creusés ou immergés et tranchées couvertes

Les tunnels creusés non revêtus ne font l'objet d'aucune exigence particulière de résistance au feu.

Il en est de même pour les tunnels à revêtement non porteur sous réserve de la vérification de l'absence de risque d'effondrement en chaîne en cas de rupture d'un élément.

Dans les autres cas, et notamment les tunnels immergés et les tunnels situés sous le niveau d'une nappe phréatique, le degré de stabilité au feu de deux heures est vérifié par calculs selon la courbe ISO 834.

2.3.2.1.2. - Tunnels intégrés à une structure en béton habitée ou occupée

Lorsque le tunnel se trouve contigu ou situé sous un immeuble habité ou occupé, les degrés de résistance au feu des murs ou des parois mitoyens sont fixés dans les mêmes conditions que les dispositions de l'arrêté du 20 février 1983 modifié, en porteur des bâtiments en superstructure, sans préjudice des mesures citées ci-dessus, ces éléments porteurs présentent le même degré de stabilité au feu que celui requis pour les bâtiments en superstructure, et au minimum deux heures selon la courbe ISO 834.

Dans le cas où une ou plusieurs parties du tunnel constituent des éléments de la structure particulier GA 3, paragraphe 3, et GA 4 à 6.

2.3.2.1.3. - Tunnels autorisés au transit des matières dangereuses

Dans le cas des tunnels visés au 3ème alinéa du point 2.2.1.1. et autorisés au transit des matières dangereuses, la résistance au feu des éléments de structure est vérifiée, quels que soient les matériaux utilisés, en utilisant à la fois :

- la courbe ISO 834 pendant une durée maximale de quatre heures,

- la courbe hydrocarbure pendant une durée maximale de deux heures; il y a lieu alors de s'assurer du non éclatement du béton. Si celui ci n'est



pas garanti, la justification de la résistance au feu sera apportée par la réalisation d'essais.

2.3.2.1.4 - Couvertures légères

L'absence de risque d'effondrement en chaîne des couvertures légères en cas de rupture d'un élément doit être vérifiée.

2.3.2.2. - Résistance au feu des structures secondaires

Les degrés de résistance au feu mentionnés aux paragraphes 2.2.2.1. et 2.2.2.2. suivants sont vérifiés selon la courbe ISO 834.

Seules les situations les plus fréquentes sont examinées.

2.3.2.2.1. - Faux-plafonds et parois séparant des conduits de ventilation

Les faux-plafonds ou les parois servant à délimiter un conduit de ventilation par rapport au tunnel, de même que l'ensemble des parois des conduits de ventilation, présentent un degré de stabilité au feu de deux heures. En outre, les parois qui ne comportent pas de bouches ouvertes en permanence sont coupe-feu de degré deux heures.

Cette durée est portée-à quatre heures si le transit de matières dangereuses est prévu.

2.3.2.2.2. - Locaux techniques et stations de ventilation

Si des locaux techniques, en particulier des stations de ventilation, alimentation électrique, télécommunications, signalisation, sont contigus au tunnel, les parois ou les dalles mitoyennes présentent un degré coupe-feu de deux heures.

Cette durée est portée-à quatre heures si le transit de matières dangereuses est prévu.

Si ces locaux communiquent directement avec le tunnel, la communication est pare-flamme pendant les mêmes durées. En outre, pour les cas où ces locaux présenteraient des dangers particuliers (présence d'un groupe électrogène par exemple), l'installation d'un sas est requise.



2.4 CHAPITRE III DISPOSITIONS COMMUNES

2.4.1. - GÉNIE CIVIL

2.4.1.1. - Accès routier et parking en tête de tunnel

Des pistes autorisant le croisement des véhicules de secours et si nécessaire le franchissement des voies ferrées permettent l'accès des véhicules de secours à chaque tête de tunnel.

Des parkings de dimensions suffisantes pour permettre le stationnement et le retournement des véhicules de secours sont aménagés à proximité de chaque tête de tunnel.

Pour les tunnels à deux tubes, un aménagement permettant aux véhicules de secours de passer d'un tube à l'autre est prévu à l'extérieur à proximité des têtes.

En milieux urbain et périurbain, la nécessité de ces infrastructures sera examinée au cas par cas.

2.4.1.2. - Cheminement

Un cheminement est prévu pour l'évacuation des personnes en tout point du tunnel.

Différentes solutions peuvent être adoptées, notamment le trottoir et le radier.

Si le trottoir est retenu, sa largeur est au moins de 0,70 m libre de tout obstacle sur une hauteur de 2 m. Un trottoir est installé de chaque côté du tunnel dans le cas d'un ouvrage à deux voies. Une main courante est fixée en piédroit.

Si la solution du radier est retenue, la largeur du cheminement ne peut être inférieure à celle préconisée pour les trottoirs.

Sa surface est aussi régulière que possible. Notamment, les traverses ou entretoises ne doivent pas faire saillie.



Si nécessaire, un trottoir intermédiaire d'une largeur minimale de 0,50 m, libre de tout obstacle sur une hauteur de 2 m, permet aux voyageurs de rejoindre le cheminement sur le radier.

Les valeurs d'embranchement des voitures vers le trottoir ou, le cas échéant, du trottoir intermédiaire vers le radier, ne peuvent excéder 0,40 m dans le plan vertical.

2.4.1.3. - Mise en sécurité des agents de maintenance

S'il est prévu que certaines opérations de maintenance puissent avoir lieu pendant le passage des trains, les dispositions nécessaires à la mise en sécurité des agents de maintenance (niches de sécurité, main courante...) sont prises.

2.4.2. - EQUIPEMENTS GÉNÉRAUX DE SÉCURITÉ

2.4.2.1. - Alimentation électrique

Afin que les usagers puissent gagner les sorties, même en cas de coupure de l'alimentation électrique extérieure, les équipements de sécurité indispensables (éclairage de sécurité notamment) sont alimentés par une source d'énergie électrique secourue d'une autonomie d'au moins 1h00 ou par deux sources d'origines différentes dont les canalisations électriques sont résistantes au feu sur leur parcours éventuellement commun.

La continuité de l'alimentation électrique des équipements dédiés aux services de secours est maintenue à proximité d'un incendie (cables résistants au feu, protections physiques...).

Des prises électriques 240/400 V - 3P + N + T - 10/20 A, d'une puissance minimale utilisable de 12 kVA sont prévues de chaque côté du tunnel pour alimenter des appareils d'éclairage, des matériels de désincarcération et des postes de découpage plasma. La compatibilité de ces spécifications (puissance utilisable, notamment) avec les matériels équipant les services de secours est vérifiée au niveau local.

Ces prises sont alimentées par une ligne électrique de chaque côté du tunnel, chacune alimentée par une source différente.

Sur chaque ligne, la distance maximale séparant deux prises est 200 m de façon à autoriser l'usage d'une prise tous les 100 m.

L'installation permet l'utilisation simultanée de deux prises par ligne.



2.4.2.2. - Eclairage

Le tunnel est équipé d'un éclairage normal permettant l'évacuation des voyageurs et le cheminement des secours.

En cas de panne de l'alimentation électrique, un éclairage de sécurité de type B d'une autonomie minimale d'une heure et assurant un éclairement d'au moins 2 lux en tout point au niveau du sol est prévu dans les cheminements et dans les dispositifs d'accès des secours.

Les points lumineux de l'éclairage de sécurité sont alimentés de telle sorte qu'un incendie ne puisse pas provoquer leur extinction sur une longueur supérieure à 100 m.

Leur espacement ne peut excéder 50 m sur la même piste de circulation.

Dans les tunnels à deux voies, ils sont disposés en quinconce.

2.4.2.3. - Repérage des issues et de leur éloignement

Une signalisation éclairée est mise en place à intervalles réguliers de 100 m environ pour indiquer la distance des issues du tunnel.

2.4.2.4. - Alimentation en eau d'incendie

2.4.2.4.1. - Tunnels en milieu urbain ou périurbain

L'alimentation en eau d'incendie peut être assurée par colonne sèche ou par colonne en eau morte protégée contre le gel, de diamètre 100 mm.

Les raccords d'alimentation au niveau de la voie publique se trouvent à moins de 60 m d'un hydrant.

Les colonnes sont munies de prises de 2 X 40 mm et 1 x 65 mm dans les sas, en tête de gare ou station et tous les 100 m en tunnel.

La partie en traînage d'une colonne n'excède pas une longueur de 800 m.

Dans le cas d'installation de plusieurs colonnes consécutives le long du tunnel, il subsiste systématiquement un intervalle de 100 m. environ entre les prises extrêmes de deux colonnes.



Dans le cas d'extension d'un système de transport, et par souci de cohérence, les dispositions retenues pour les infrastructures existantes peuvent être reconduites dès lors qu'elles donnent satisfaction.

Ces matériels répondent aux normes en vigueur.

2.4.2.4.2. - Tunnels de rase campagne

Dans le cas où les dispositions du point 3.2.4.1. précédent ne sont pas réalisables, il y a lieu d'équiper le tunnel d'une installation en charge protégée contre le gel et disposant en permanence d'une réserve d'eau de 120 m³.

Les prises d'incendie de 2 X 40 mm et 1 X 65 mm sont installées tous les 250 m au maximum et aux têtes de tunnel; leur débit est de 60 m³/h sous une pression de 6 bars; deux points d'eau peuvent être utilisés simultanément.

Ces matériels répondent aux normes en vigueur.

2.4.2.5. - Communications pour les services de secours

Les communications entre les services de secours, et entre ces mêmes services et l'exploitant, notamment entre le lieu de l'incident et l'extérieur du tunnel, sont assurées.

Les services de secours disposent au minimum de deux lignes spécifiques, l'une dédiée au commandement des opérations, l'autre aux opérations d'alimentation en eau d'extinction des incendies.

2.4.2.6. - Relevage

L'exploitant prévoit l'équipement nécessaire au relevage du matériel roulant.

Si la technique retenue fait appel à des anneaux fixes en tunnel, ceux-ci ont un diamètre intérieur minimal de 120 mm, et autorisent une traction dans toutes les directions au moyen d'une manille; ils sont disposés tous les 30 m à une hauteur comprise entre 0,50 m et 1 m du sol. Ils possèdent une résistance minimale de 5 000 daN.

2.4.2.7. - Anneaux de rappel

D'un diamètre minimal de 200 mm, ils sont disposés à proximité immédiate des accès au tunnel et des têtes de tunnel à une hauteur comprise entre 1 m et 1,50 m du plan de cheminement.



2.4.3. - EQUIPEMENTS DE SÉCURITÉ FERROVIAIRE

2.4.3.1. - Liaison sol-train

La continuité des communications phoniques entre le centre de contrôle ferroviaire et les trains est assurée en tunnel.

2.4.3.2. - Système de contrôle de vitesse

Un système de contrôle de vitesse permet de prévenir, en cas d'erreur de conduite, le risque de rattrapage, de nez à nez, ou de prise en écharpe.

2.4.3.3. - Lorrys

Pour les tunnels de rase campagne, des lorrys freinés à l'usage des services de secours sont mis en place à raison de deux par extrémité de tunnel.

Ils supportent au minimum une charge de 500 kilogrammes et permettent l'évacuation d'un blessé allongé sur un brancard normalisé.

Pour les tunnels urbains ou périurbains, ces matériels, en nombre suffisant, sont mis à la disposition des services de secours par l'exploitant.

2.5 CHAPITRE IV DISPOSITIONS PARTICULIÈRES

2.5.1. - GÉNIE CIVIL

2.5.1.1. - Système d'assainissement

Un tel système est installé dans les tunnels de plus de 5 km où le transit de matières dangereuses est prévu.

Le système d'assainissement est apte à :

- absorber un débit d'au moins 100 l/s,
- recueillir 80 m³ au moins.

Chaque caniveau (un par voie) se déverse tous les 50 m au maximum dans un collecteur enterré.



Au droit de chaque raccordement un siphon est aménagé afin d'arrêter les flammes avant acheminement du liquide vers la fosse de rétention.

Au cas où ce système sert également au recueil des eaux de ruissellement, la capacité de la fosse permet en toutes circonstances le stockage de 80 m³ de matières dangereuses.

2.5.1.2. - Dispositifs d'accès des secours pour les tunnels sur lignes urbaines

Ces dispositifs sont obligatoires pour les tunnels sur lignes urbaines d'une longueur supérieure à 800 m au sens de l'article 1.1.

La distance entre deux de ces dispositifs, ou bien entre l'un de ces dispositifs et une gare ou station, ou une tête de tunnel, ne peut être supérieure à 800 m.

Dans le cas de tunnel en cul de sac de longueur comprise entre 100 m et 800 m, un dispositif d'accès des secours est prévu en extrémité, dont les modalités et moyens d'ouverture sont arrêtés en concertation avec les services de secours appelés à les utiliser.

Ces dispositifs ont une largeur minimale de 2 unités de passage et une hauteur minimale de 2,2 m.

Ils sont reliés au tunnel par un sas mis en surpression localement et équipé de portes de degré coupe-feu une demi-heure.

Un volume tampon d'une surface voisine de 25 m² est réalisé entre le sas et le volume ascenseur / escalier.

2.5.1.2.1. - Equipement

Chaque accès dispose:

- d'un éclairage,
- de moyens de liaison avec l'exploitant,
- de moyens de liaison des services de secours (au minimum un poste sur la ligne dédiée au commandement de l'opération, et un poste sur la ligne dédiée à l'alimentation en eau d'extinction),
- d'une colonne sèche,



- d'une commande locale de mise en surpression du sas.

2.5.1.2.2. - Equipement complémentaire

Lorsque les voies se trouvent entre 15 m et 28 m de profondeur, un puits de dimensions minimales 1 X 2 m avec poulie de descente de matériel (force minimale de 50 kg) est mis en place.

Au delà de 28 m de profondeur, un ascenseur permettant le transport du brancard normalisé est prévu dans les dispositifs d'accès des secours. Cet appareil peut être confondu avec celui de la station. Il est alors équipé d'un dispositif d'appel prioritaire.

2.5.1.3. - Evacuation des voyageurs

La conception du matériel roulant permet de limiter les arrêts intempestifs. En cas d'incendie, elle permet la sortie du train à l'extérieur du tunnel ou son accès à la prochaine gare ou station.

Dans le cas d'un incident entraînant l'arrêt d'un train en tunnel, la priorité est donnée à l'évacuation des passagers au moyen d'un autre train si les conditions de sécurité le permettent.

Dans le cas des tunnels à deux tubes non situés sur des lignes urbaines, des galeries de communication entre tubes, d'une largeur minimale de 4 unités de passage et d'une hauteur minimale de 2,2 m, sont réalisées tous les 800 m au maximum.

A chaque extrémité, elles sont équipées d'une porte d'une largeur minimale de deux unités de passage, fermée en temps normal, l'ensemble du dispositif séparant les tubes devant avoir un degré coupe feu de 2 heures.

Si un tunnel de sécurité est prévu, des galeries de communication sont réalisées dans les mêmes conditions entre les tunnels ferroviaires et le tunnel de sécurité.

Des dispositifs appropriés empêchent l'intrusion de fumées venant du tunnel incidenté, dans les galeries de communication, le tunnel non incidenté, et, le cas échéant le tunnel de sécurité.



2.5.1.4. - Aire de poser pour hélicoptère

Lorsque la tête de tunnel se trouve dans une zone défavorable (accès difficile, topographie...) une aire de poser pour hélicoptère est prévue à proximité.

2.5.1.5. - Dispositif anti-recyclage des fumées aux têtes de tunnel

Dans les tunnels à deux tubes, si un incendie se déclare dans un tube, la fumée qui s'échappe par une extrémité ne doit pas être recyclée dans l'autre tube. Des dispositions sont prises pour éviter ce phénomène dans toute la mesure du possible (mur de séparation des sens de circulation ou décalage des têtes par exemple).

2.5.2. - VENTILATION, DÉSENFUMAGE

- tunnels sur lignes urbaines telles que définies au point 1.4.1. précédent,
- tunnels d'une longueur supérieure à 5km en cas de transit de matières dangereuses ou de matériel standard.

La vitesse de balayage ne peut être inférieure à 1,5 m/s, la puissance des installations de désenfumage devant être adaptée aux conditions météorologiques locales les plus fréquentes.

Le désenfumage est assuré par groupes de deux moteurs réversibles disposant de deux sources d'alimentation électrique différentes.

Les ventilateurs ont une résistance au feu d'au moins 200° C pendant deux heures.

Le doublement des moteurs n'est toutefois pas obligatoire si la conception du système de désenfumage permet de garantir qu'en cas de panne d'une installation, les installations encadrantes permettent d'assurer le contrôle des fumées en soufflage et en aspiration.

Une commande manuelle prioritaire du désenfumage est mise à la disposition des services de secours dans chaque bureau de station ou gare afin de faciliter les interventions.



2.5.3. - EQUIPEMENTS OU DISPOSITIONS DE SÉCURITÉ FERROVIAIRE

2.5.3.1. - Limitation / séparation des activités voyageurs et fret

S'agissant de tunnels sur lignes urbaines ou sur lignes à voyageurs, la circulation dans les mêmes plages horaires de trains de voyageurs et de trains de fret est interdite. La circulation de trains de travaux ne transportant pas de matières dangereuses est tolérée.

S'agissant de tunnels à double voie sur lignes mixtes :

- si la longueur est inférieure ou égale à 5 km, des mesures (construction des horaires par exemple) visant à limiter le croisement de trains de voyageurs et de trains entiers de marchandises dangereuses sont appliquées,
- si la longueur est supérieure à 5 km, le croisement de trains de voyageurs et de trains de marchandises dangereuses est interdit.

2.5.3.2. - Matériel roulant

Le transit de matériels standard est interdit dans les tunnels non équipés d'un système de ventilation/désenfumage dont la longueur est supérieure à 5 km.

2.5.3.3. - Circulation des secours en tunnel

Un engin de manoeuvre ou de maintenance permettant d'acheminer les services de secours et leurs équipements à l'intérieur de l'ouvrage est prévu pour les tunnels dont la longueur est supérieure à 5 km.

Cet engin est garé en un lieu suffisamment proche de l'ouvrage pour ne pas retarder l'arrivée à pied d'oeuvre des secours.

Cette mesure n'est pas requise lorsque l'exploitant met à la disposition des services de secours des engins mixtes rail route.

De même, cette mesure n'est pas requise pour les tunnels sur lignes urbaines.



2.5.3.4. - Organisation du retour en arrière

Des mesures adaptées aux conditions d'exploitation de la ligne sont prises afin d'éviter, dans les cas les plus probables, d'emprisonner longuement un train de voyageurs réversible sain derrière un train en détresse.

Pour les tunnels sur lignes à voyageurs ou mixtes dont la longueur dépasse 5 km, celles-ci concernent notamment:

- la signalisation dont le sens peut être inversé malgré la présence d'un train,
- l'alimentation en énergie électrique de traction qui est divisée en sections élémentaires de longueur voisine de celle de l'espacement normal entre deux trains.

2.5.3.5. - Détecteurs de boîtes chaudes.

Pour les tunnels sur lignes mixtes ou à voyageurs, il est vérifié que l'équipement de ces lignes en détecteurs de boîtes chaudes permet l'arrêt d'un train affecté avant son entrée dans l'ouvrage.

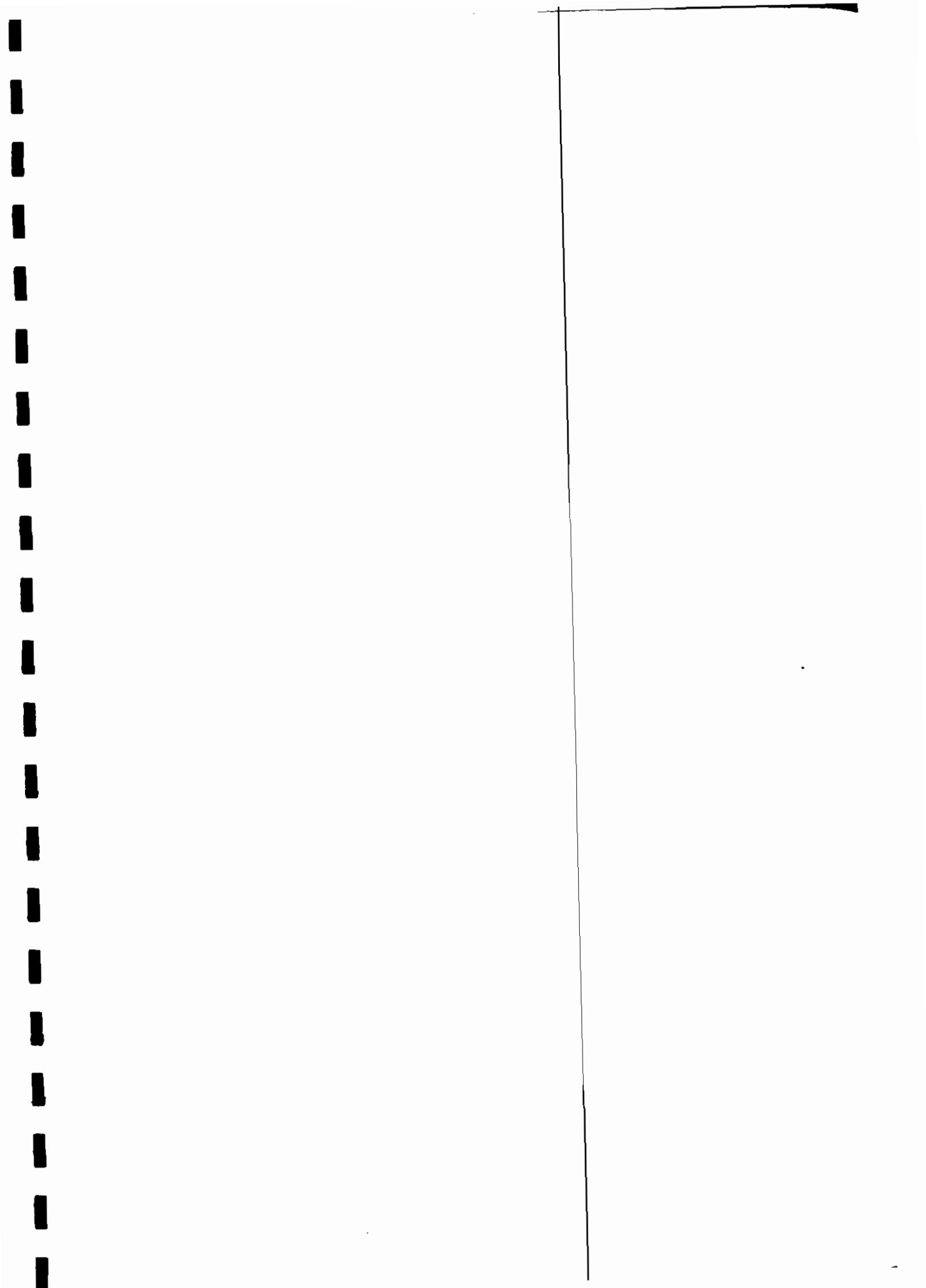
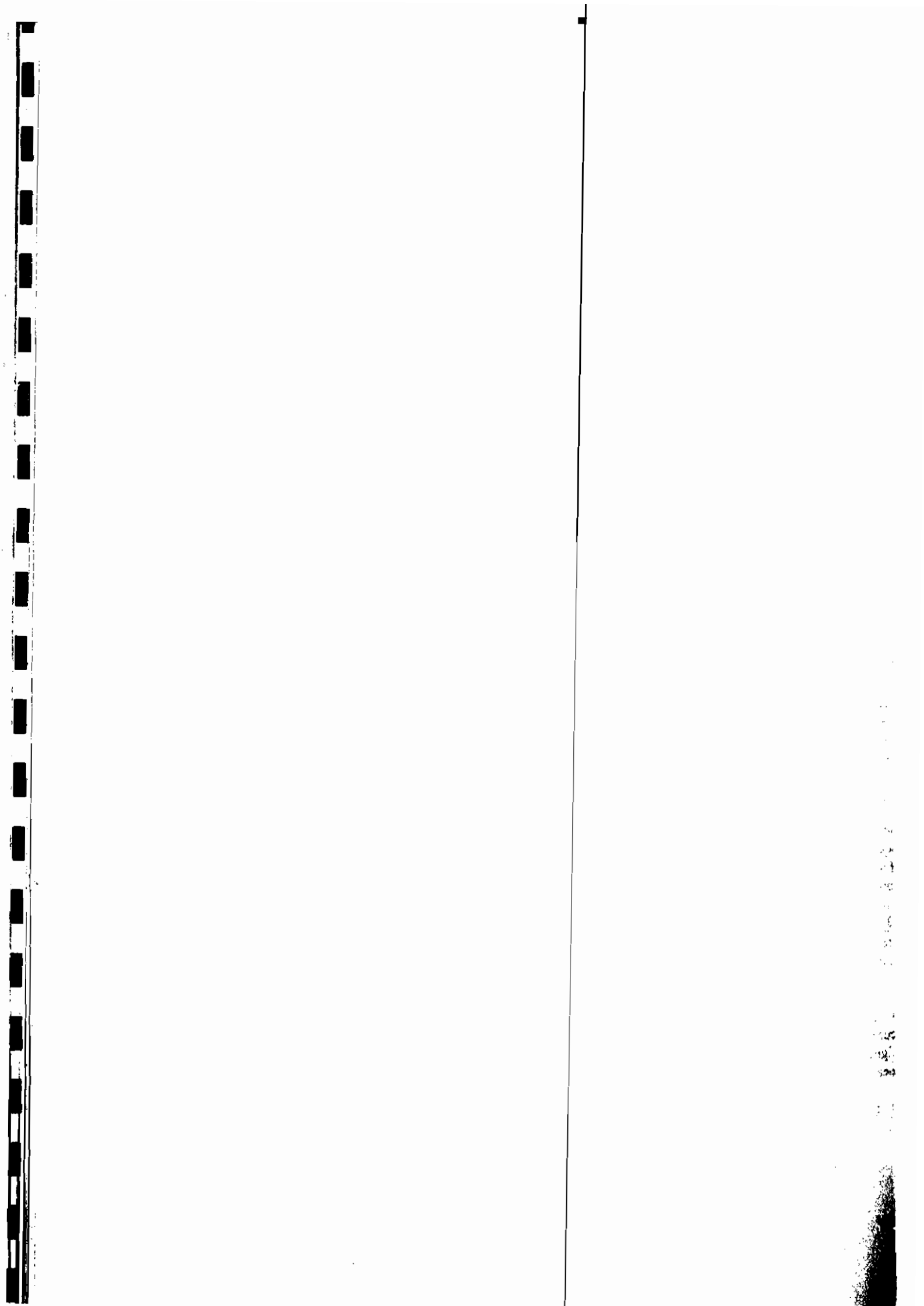


TABLEAU DE SYNTHESE

| Nature de la ligne Nature de la mesure | Lignes urbaines | | Lignes voyageurs | | Lignes mixtes | |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--|--|--|
| | 800 m <L< 5 km | 5 km <L< 10 km | 800 m <L< 5 km | 5km <L< 10 km | 800 m <L< 5 km | 5 km <L< 10 km |
| Dispositions communes (1) | oui | oui | oui | oui | oui | oui |
| Assainissement (4.1.1) | non | oui, si transit de M.D. | non | oui, si transit de M.D. | non | oui, si transit de M.D. |
| Dispositifs d'accès des secours (4.1.2) | oui | oui | non | non | non | non |
| Communications entre tubes (4.1.3) | non | non | oui | oui | oui | oui |
| Aire de poser pour hélicoptère (4.1.4) | non | non | oui si zone défavorable | oui si zone défavorable | oui si zone défavorable | oui si zone défavorable |
| Dispositif anti-recyclage fumées(4.1.5) | oui si bitube | oui si bitube | oui si bitube | oui si bitube | oui si bitube | oui si bitube |
| Ventilation / Désenfumage (4.2) | oui | oui | non | oui, si transit de M.D. ou matériel standard | non | oui, si transit de M.D. ou matériel standard |
| Limitation / séparation activités voyageurs et marchandises (4.3.1) | séparation | séparation | séparation | séparation | limitation croisement M.D.entiers et voyageurs (2) | interdiction croisement M.D. et voyageurs (2) |
| Matériel moderne ou modernisé ou standard (4.3.2) | tous matériels autorisés | tous matériels autorisés | tous matériels autorisés | matériel standard interdit si absence de désenfumage | tous matériels autorisés | matériel standard interdit si absence de désenfumage |
| Engin motorisé pour acheminer les secours (4.3.3) | non | non | non | engin ferroviaire ou rail/route | non | engin ferroviaire ou rail/route |
| Refolement / Rebroussement des trains suiveurs (4.3.4) | non | non | non | oui | non | oui |
| Détecteurs de boites chaudes (4.3.5) | non | non | oui | oui | oui | oui |

(1) : Réaction et résistance au feu (chapitre II), accès routier et parking en tête de tunnel (3.1.1), cheminement (3.1.2), mise en sécurité des agents de maintenance (3.1.3), alimentation électrique (3.2.1), éclairage (3.2.2), repérage des issues et de leur éloignement (3.2.3), alimentation en eau d'incendie (3.2.4), communications pour les services de secours (3.2.5), relevage (3.2.6), anneaux de rappel (3.2.7), liaison sol-train (3.3.1), système de contrôle de vitesse (3.3.2), lorrys (3.3.3).

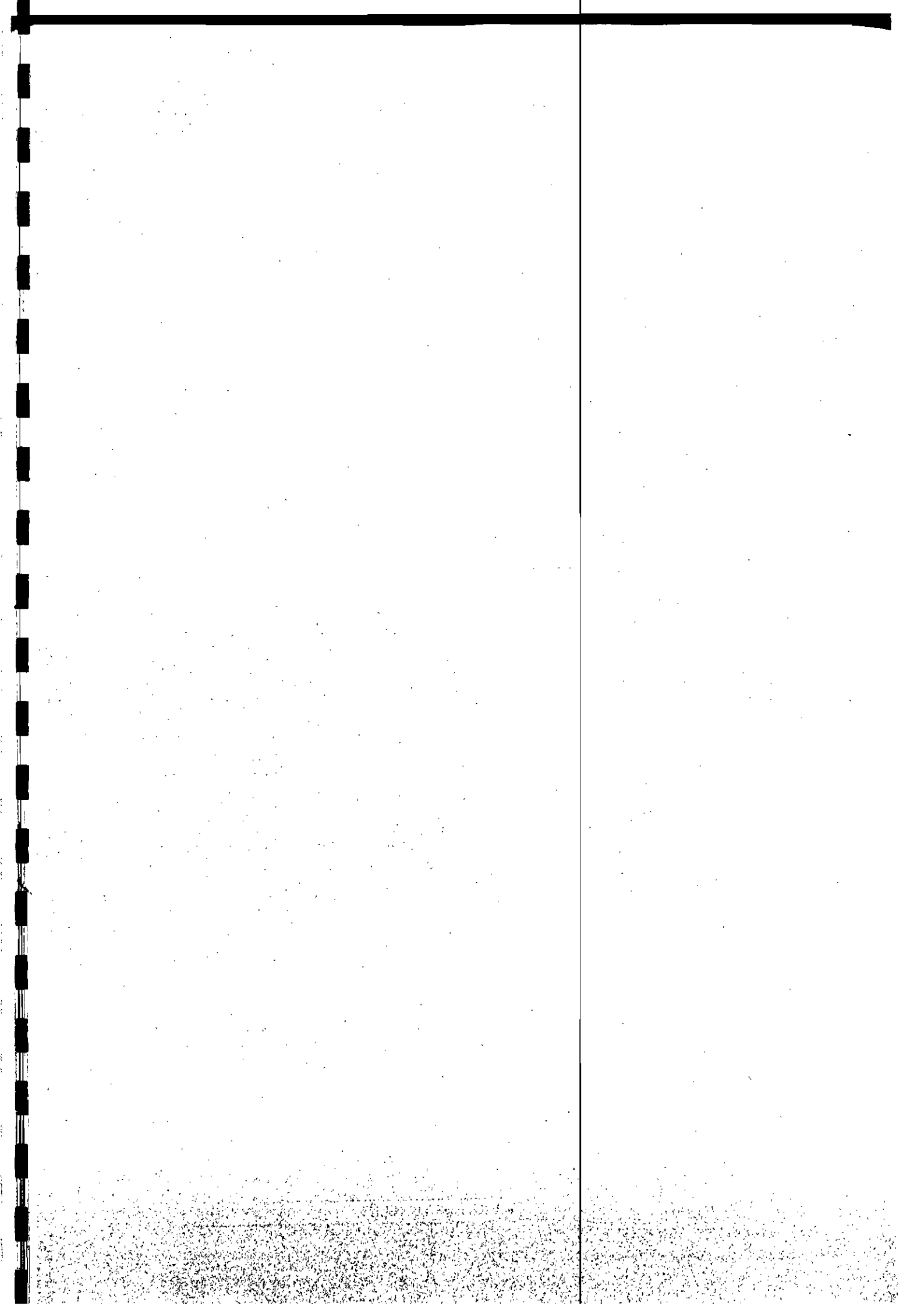
(2) : tunnels monotube à double voie





**ACTUACIONES EN LA
INFRAESTRUCTURA DE LOS
TÚNELES PARA MEJORAR LA
SEGURIDAD EN LA
EXPLOTACIÓN**

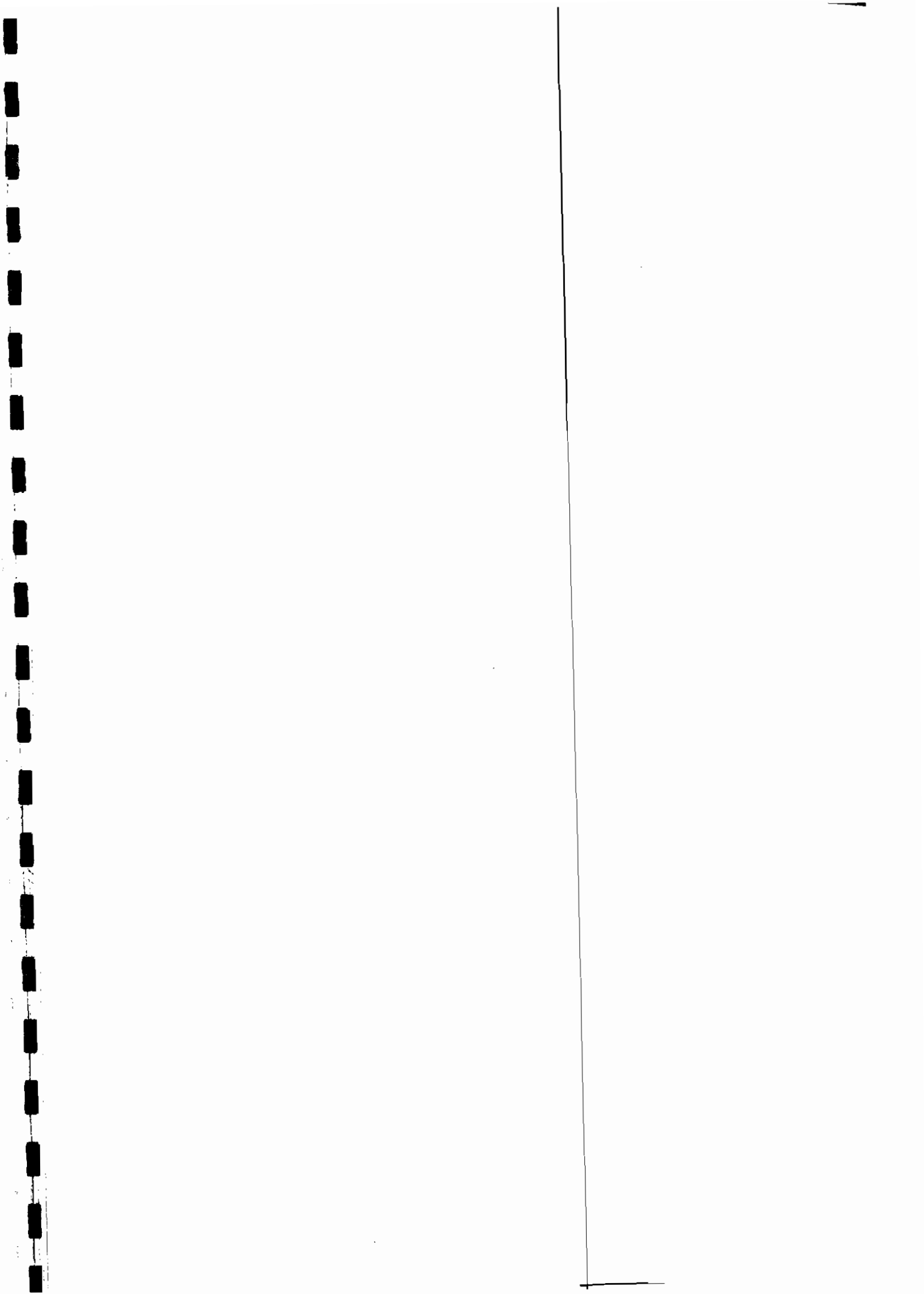
D. RAFAEL LÓPEZ GUARGA
ING. CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
UNIDAD DE CARRETERAS DE HUESCA
MINISTERIO DE FOMENTO





INDICE

| | |
|--|-----------|
| 3.1. INTRODUCCION | 1 |
| 3.2.- INFRAESTRUCTURA. FACTORES QUE AFECTAN A LA SEGURIDAD..... | 2 |
| 3.2.3.- EL REVESTIMIENTO COMO GARANTÍA DE SEGURIDAD Y MEJORA DE LAS CONDICIONES DE SOSTENIMIENTO E IMPERMEABILIZACIÓN..... | 6 |
| 3.2.4.- SUMINISTROS Y DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA..... | 11 |
| 3.2.5.1.- <i>Falsos techos y compartimentos</i> | 13 |
| 3.2.5.2.- <i>Comunicación entre los conductos de aire y el túnel</i> | 16 |
| 3.2.5.3.- POZOS Y GALERÍAS PARA EL PASO DEL AIRE..... | 17 |
| 3.2.5.4.- ESTACIONES DE VENTILACIÓN..... | 17 |
| 3.2.5.4.1.- <i>Estaciones subterráneas</i> | 18 |
| 3.2.5.4.2.- <i>Estaciones de superficie</i> | 18 |
| 3.2.6.- INFRAESTRUCTURAS DE SEGURIDAD..... | 18 |
| 3.2.7.- EQUIPAMIENTOS COMPLEMENTARIOS RELACIONADOS CON LA INFRAESTRUCTURA..... | 20 |
| 3.3.- PRECAUCIONES DIVERSAS SOBRE LA INFRAESTRUCTURA CON RESPECTO AL FUEGO..... | 24 |
| 3.4.- ACTUACIONES EN LA INFRAESTRUCTURA DE LOS TÚNELES EXISTENTES PARA MEJORAR LA SEGURIDAD EN LA EXPLOTACIÓN..... | 26 |
| 3.5.NUEVOS DISEÑOS PARA LA SEGURIDAD | 30 |
| 3.6. CONCLUSIONES A MODO DE REFLEXION | 33 |
| 3.7.BIBLIOGRAFIA..... | 36 |
| 3.8. ANEXO: SISTEMAS DE VENTILACIÓN..... | 38 |
| 3.8.1- SISTEMA SEMI-TRANSVERSAL REVERSIBLE (V1)..... | 38 |
| 3.8.2- SISTEMA LONGITUDINAL CON POZOS INTERMEDIOS (V2)..... | 39 |
| EN CONDICIONES NORMALES DE EXPLOTACIÓN..... | 39 |
| EN CASO DE INCENDIO | 40 |
| 3.8.3- SISTEMA LONGITUDINAL CON UTILIZACIÓN DE UNA GALERÍA PARALELA (V3)..... | 41 |
| 3.8.4- SISTEMA MIXTO LONGITUDINAL SEMITRANSVERSAL (V4)..... | 43 |
| 3.8.5- SISTEMA TRANSVERSAL (V5) | 45 |



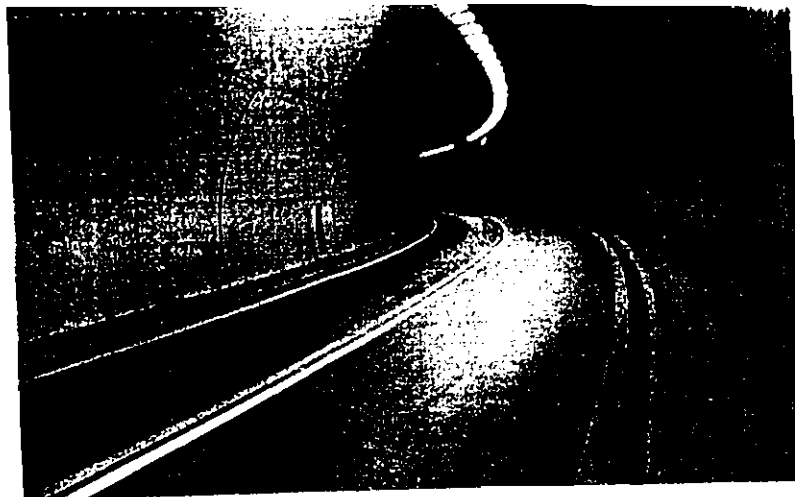
3.1. INTRODUCCION

El Concepto de Seguridad es fundamentalmente subjetivo y depende de la sensación que cada persona experimenta en una determinada situación.

Seguridad, según el Diccionario de la Real Academia Española de la Lengua, es la conciencia de estar libre y exento de todo peligro, daño o riesgo.

En el caso particular de un túnel, esta convicción debe estar presente en todas las personas que lo recorren durante el tiempo que dure el viaje en su interior, debiendo tener presente que éste debe de ser uno de los objetivos principales de los ingenieros que lo proyecten, de la empresa que lo construya y del equipo humano que lo explote.

No cabe duda que pocos túneles, a partir de una determinada longitud, 300 m, cumplen siempre esta condición de seguridad total, y el número de personas que no tienen esa sensación crece, imaginamos que de forma exponencial, con la longitud de la obra a recorrer y con el tipo y abundancia de las instalaciones y equipamientos de que dispone la misma.



Túnel de Montana

Algunos autores han propuesto métodos de análisis para justificar el comportamiento de los usuarios sobre la base de variables tales como la percepción espacial de éstos, la noción del tiempo recorrido, la previsión del recorrido próximo inmediato, la adaptación del comportamiento a las circunstancias percibidas, pero todos están de acuerdo con la idea de que un factor muy importante lo constituye el poder informar al usuario sobre las condiciones de circulación y sobre las posibles variaciones de las condiciones normales de explotación, una vez conocidas éstas por el equipo que explota la obra.



En esta ponencia se van a exponer los factores relacionados con la infraestructura que afectan a la seguridad. Los relacionados con el equipamiento serán objeto de otra ponencia.

3.2.- INFRAESTRUCTURA. FACTORES QUE AFECTAN A LA SEGURIDAD.

- 2.1.- Definición en planta y alzado
- 2.2.- Geometría de la sección transversal
- 2.3.- El revestimiento como garantía de seguridad y mejora de las condiciones de sostenimiento e impermeabilización
- 2.4.- Suministros y distribución de energía
- 2.5.- Infraestructuras de ventilación
- 2.6.- Infraestructuras de seguridad
- 2.7.- Equipamientos complementarios relacionados con la infraestructura
- 2.8.- Pavimento
- 2.9.- Señalización

Los cuales pasamos a continuación a analizar independientemente.

3.2.1.- DEFINICIÓN EN PLANTA Y EN ALZADO.

La Instrucción de Carreteras Norma Provisional 3.1 IC. de Trazado, de Diciembre de 1996, contempla en sus apartados relativos a túneles, tanto las pendientes máximas recomendables como las secciones a utilizar en función de la longitud de la obra.

Con respecto al trazado en planta se tendrá en cuenta lo que dice la Norma citada en otros apartados de la misma. Las longitudes máximas de las alineaciones rectas dependen de la velocidad específica, correspondiendo una longitud máxima de 1.448 m a una velocidad de 80 km/h y otra de 1.764 m a 100 km/h.

El trazado, en principio, viene condicionado por el carácter unidireccional o bidireccional del tráfico en el túnel. En el segundo caso no conviene disponer alineaciones rectas en gran longitud por el efecto de cansancio y deslumbramiento



que supone estar viendo durante mucho tiempo los faros de los vehículos que circulan en sentido contrario, circunstancia que no se produce en el caso de túnel unidireccional. El trazado en planta también queda influenciado por la longitud del túnel.

En cualquier caso parece oportuno proyectar alineaciones de gran radio que permitan mantener el peralte de la calzada hacia el mismo lado del túnel, aún cuando la alineación no tenga el mismo sentido. Esta circunstancia permite recoger el vertido de materias peligrosas o contaminantes en la calzada y su posterior salida al exterior, manteniendo la conducción en el mismo hastial del túnel durante todo el recorrido.

Por último, es recomendable proyectar curvas amplias en las salidas del túnel para evitar problemas de ansiedad de los usuarios por una visión prolongada de la salida sin llegar a alcanzarla, y para evitar problemas de deslumbramiento por el efecto frontal de los rayos solares. Conviene evitar la orientación Este-Oeste del eje del túnel para disminuir los deslumbramientos, sobre todo en terrenos llanos donde el entorno no resguarda de la luz la salida del túnel.

En cuanto al trazado en alzado hay que señalar el gran aumento en la emisión de gases que se produce en los Vehículos Pesados (V.P.) con el aumento del porcentaje de la subida en rampa y por lo tanto, la gran incidencia que este efecto tiene en la visibilidad en el interior y en la potencia necesaria para la ventilación.

La fluidez del tráfico se perturba considerablemente ya que una rampa fuerte y prolongada da lugar a velocidades anormalmente bajas de los V.P. y crea largas colas de vehículos en el interior del túnel, reduciendo de forma importante las ventajas (capacidad) que la naturaleza de una obra de este tipo debe aportar.

La Norma de trazado 3.1 I.C. recomienda que hay que elegir la inclinación y longitud de las rampas en los túneles de forma que no sean necesarios carriles adicionales. El trazado en alzado se hará de forma que en toda la longitud del túnel, la velocidad de los V.P. no baje por debajo de los 60 km/h y, en caso de túneles bidireccionales, se prohíben inclinaciones de rasantes mayores del 3%, aun cuando la longitud del túnel sea mayor de 500 m, lo que es nuestro caso, la experiencia aconseja no pasar del 2 %, siendo preciso además establecer una combinación de trazado en planta y en alzado que sea armónico con los problemas derivados de la construcción, explotación y conservación de la obra.

En todos los túneles es conveniente una rampa mínima que nos permita eliminar el agua que procede del macizo rocoso, limitándose ésta al 0,5 %.

En cuanto a las curvas de acuerdo vertical, las cóncavas deben evitarse ya que dificultan el drenaje por gravedad, pueden dar la sensación de agujero negro y si se avería un vehículo, éste deberá ser remolcado, y las convexas deben ser del



mayor radio posible para mejorar las condiciones de visibilidad y evitar las concentraciones de aire viciado.

3.2.2.- GEOMETRÍA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL.

La Norma de Trazado citada señala distintas posibilidades de anchura de la sección transversal a cota de calzada. Para túneles de más de 500 m de longitud distingue las carreteras de calzadas separadas con dos o con tres carriles de las carreteras con calzada única que sean vías rápidas o carreteras convencionales, para las que se propone los anchos siguientes:

Carretera de calzadas separadas con 2 carriles:

Sección normal = 10,50 + 1,5 m de aceras

Sección estricta = 8,50 m mínimo

Carreteras de calzadas separadas con 2 carriles ampliables

a 3 carriles = 12,50 m + 1,50 m

Carretera de calzadas separadas de 3 carriles = 12,50 m + 1,50 m

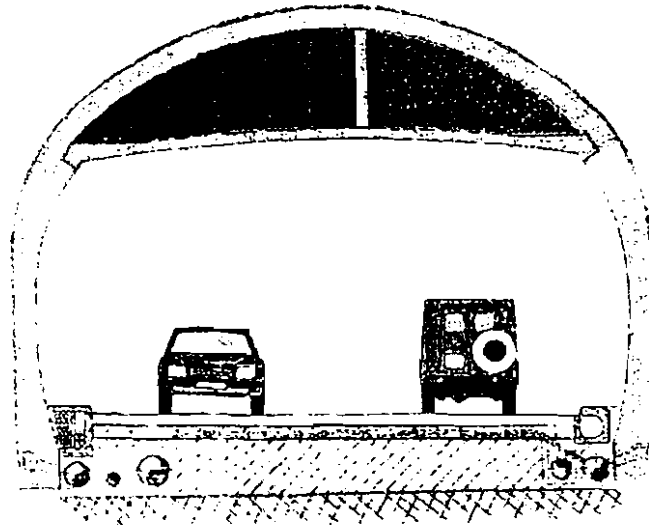
Carretera de calzada única:

Vía rápida = 11 m + 1,50 m

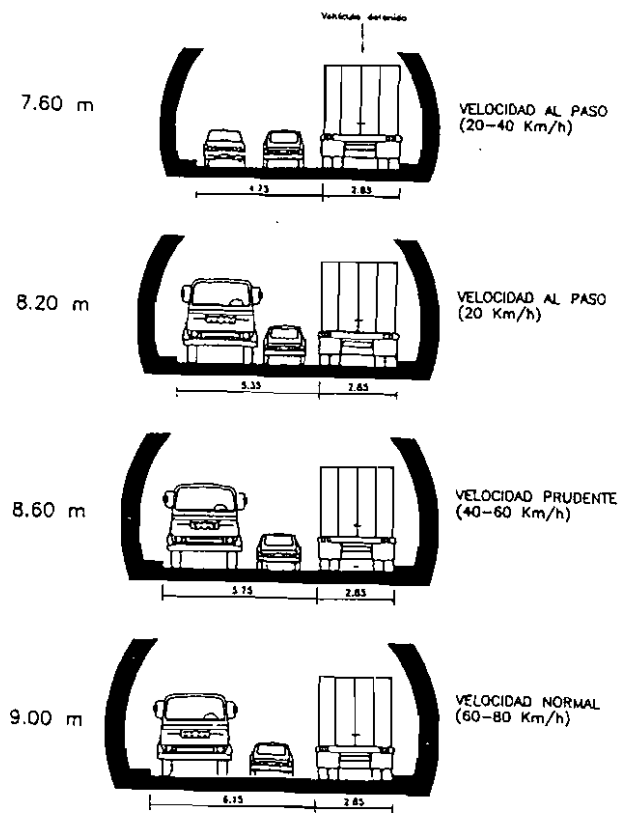
Carretera convencional = 10,50 m + 1,50 m

Estos valores deben ser optimizados, en cada caso, de acuerdo con la longitud del túnel, con el tipo y composición del tráfico esperado y con las condiciones geológico-geotécnicas del macizo rocoso.

En el caso de un túnel bidireccional, a partir de una determinada longitud, conviene elegir un ancho de calzada que permita el cruce de dos vehículos a velocidad normal mientras un vehículo pesado esté parado por avería.



Las condiciones de circulación con un vehículo pesado detenido se muestran en la figura siguiente :



La altura libre mínima que propone la Norma de Carreteras 3.1 IC de Trazado es de 5,00 metros en calzada y arcenes.



La forma geométrica ideal es la circular, tanto a efectos resistentes como por ser la de menor perímetro para una sección determinada; no obstante, tiene el inconveniente de dejar inutilizada la mayor parte de su zona inferior ya que la calzada se dispone en su parte ancha.

Dentro de esta casuística se emplean siempre secciones policéntricas con tres arcos de círculo, de forma que el arco de la clave del túnel reduce su radio a la altura de riñones para conseguir el ancho de calzada mediante otro arco de círculo de radio mayor que además da una forma curva a los hastiales y por tanto una mayor sensación de anchura al usuario.

Estas secciones, entre 70 y 80 m² libres, permiten la implantación de los elementos de ventilación, que en los túneles largos, son conductores situados en la parte superior de la sección para el movimiento del aire fresco y del aire viciado, a unas velocidades tan elevadas que aconsejan su separación del tráfico.

Hay que tener presente también, por su incidencia en la obra, los sobrecanchos laterales que definen las infraestructuras de seguridad, como nichos de seguridad e incendios, abrigos (refugios), galerías de retorno, apartaderos, otras.

3.2.3.- EL REVESTIMIENTO COMO GARANTÍA DE SEGURIDAD Y MEJORA DE LAS CONDICIONES DE SOSTENIMIENTO E IMPERMEABILIZACIÓN.

La función de estabilización del terreno después de la excavación queda encomendada al sostenimiento, considerado como un elemento activo, que permite crear un estado de confinamiento en el terreno del entorno de la sección excavada, mejorando las características de éste y soportar en mejores condiciones el estado tensional inducido como consecuencia de la apertura de la excavación.

Efectuar un buen sostenimiento, analizando la necesidad y cuantía del mismo es vital para la durabilidad del túnel y la garantía de la seguridad frente a posibles desprendimientos y fracturas. A pesar de ello se considera esencial proceder a un revestimiento posterior de la sección.

El revestimiento es un anillo de hormigón encofrado que se realiza en el contorno de la sección del túnel, una vez que se ha completado la excavación y sostenimiento, constituyendo su cara interior el paramento visto de la sección.

Los objetivos principales que se pretenden con la ejecución del revestimiento son los siguientes:

- 1) Disponer de un paramento interior en la sección, uniforme y de baja rugosidad, que mejora el rendimiento de los sistemas de iluminación y ventilación instalados en el túnel.



El revestimiento permite, en consecuencia, mejorar el rendimiento de los equipos instalados, y disponer de un mayor nivel de servicio y confort en el túnel, con un menor coste de explotación.

2) Establecer unas condiciones adecuadas de estanqueidad en la sección del túnel, que disminuyan las filtraciones y eviten el ataque y degradación del sostenimiento, propiciada por la existencia de humedad y de gases agresivos, procedentes de la combustión de los motores en el interior del túnel.

3) Con el túnel en servicio los sistemas de auscultación se hacen más complejos. Las medidas de convergencias, control importante en túneles no revestidos, pueden considerarse, en general, imposibles de realizar con la frecuencia deseada. El tener el túnel con el paramento liso, de hormigón del revestimiento, facilita percibir algunas anomalías como por ejemplo la aparición de fisuras.

4) En caso de fuego el revestimiento será una protección muy importante de la estructura resistente, incluido el propio terreno.

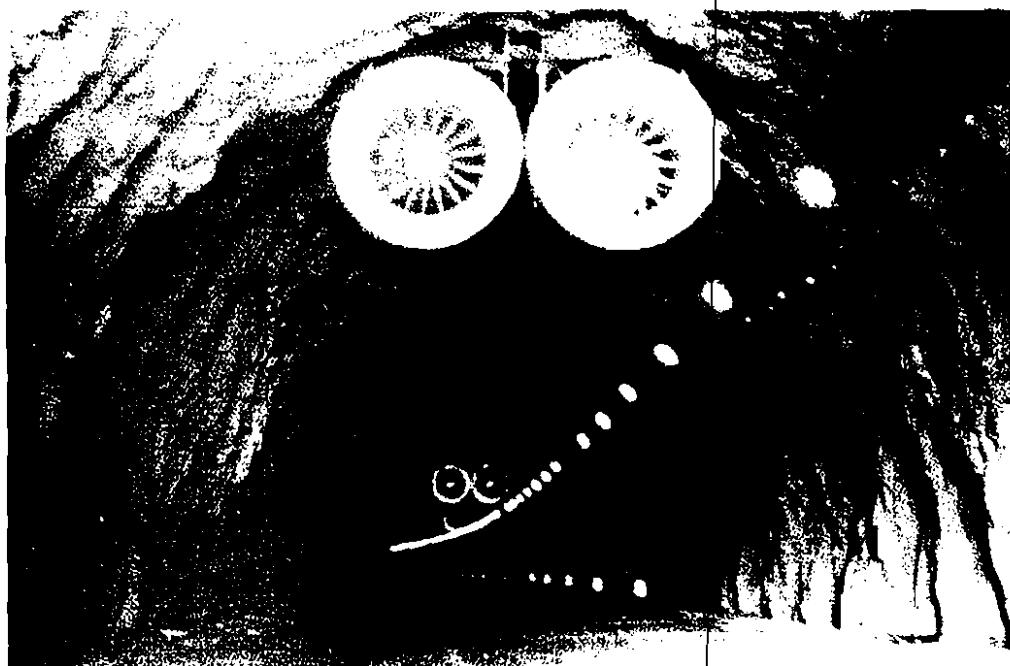
5) En los casos donde se requiere la colocación de lámina de impermeabilización sobre el paramento del sostenimiento, ésta quedaría vista en el interior de la sección si no existiese revestimiento.

Esta situación puede entrañar una peligrosidad para el tráfico, derivada de la posibilidad de desprendimientos o despegues de la lámina, o de la existencia de accidentes con fuego en el túnel, en los que la lámina podría arder o desprender gases tóxicos y humos.

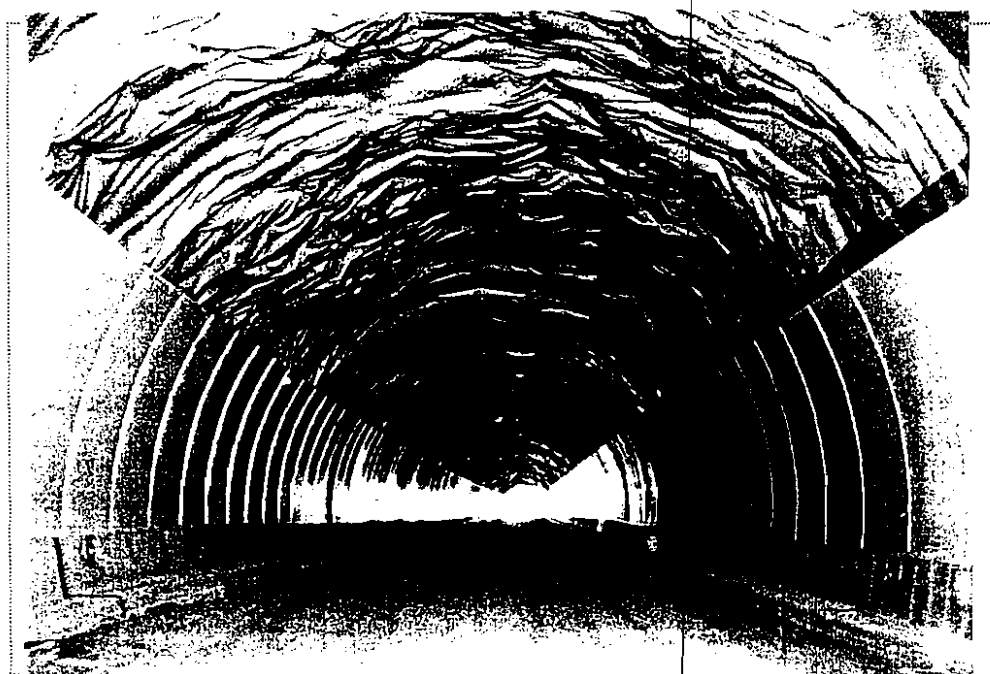
Estos problemas no se presentan si existe revestimiento en el túnel, ya que la lámina se dispone en sandwich entre el sostenimiento y el revestimiento, impidiendo la llegada de las filtraciones al interior de la sección.

6) La existencia del revestimiento supone un notable incremento de la capacidad estructural del sostenimiento colocado, al colaborar con él en la estabilización de la sección excavada, como un elemento adicional que mejora las condiciones de estabilidad del túnel a largo plazo.

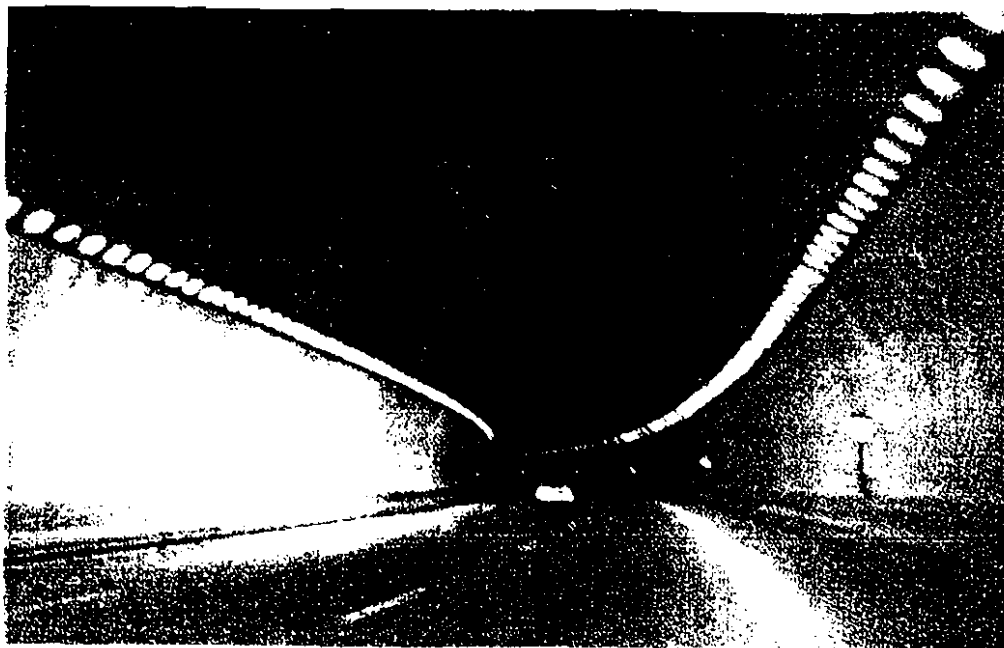
Este aspecto puede adquirir mayor relevancia, si se tiene en cuenta que en los sostenimientos actuales una parte de la estabilidad del túnel está encomendada al bulonado, cuya eficacia a largo plazo podría verse afectada por fenómenos de oxidación o corrosión de las barras de acero, o por otros de degradación de los sistemas de anclaje, de los que no se conoce exactamente su comportamiento a largo plazo, y su evolución con el tiempo.



Sección de túnel agresiva para el usuario, sin revestimiento de ningún tipo.



Túnel parcialmente revestido. Menos agresivo que sin revestir pero sin llegar al confort del revestido.



*Túnel revestido. Clave negra y paredes claras.
El nivel de iluminación es alto lo que redundará en un mayor nivel de servicio.*

Las razones anteriores hacen aconsejable la puesta en obra de un revestimiento en los túneles, lo que constituye una práctica bastante habitual en los países más desarrollados de nuestro entorno, y muy frecuente en el nuestro, sobre todo en los casos de túneles con un elevado nivel de servicio.

A veces, razones de índole económica o presupuestaria, hacen que se prescindiera de este elemento, lo que sin duda entraña una reducción del coste del túnel, a la vez que una merma de los estándares de calidad, acabado, y funcionalidad de la obra, lo que en nuestra opinión no debería constituir en ningún caso la pauta a seguir.

Creemos conveniente recomendar la ejecución del revestimiento en los túneles, apuntando que la supresión del mismo debería limitarse estrictamente a casos muy concretos, donde las disponibilidades presupuestarias hicieran imposible acometer su ejecución, o a túneles situados en vías de carácter secundario analizando en todo caso las razones y la decisión adoptada, en función de las circunstancias concurrentes.

En estos casos, incluso, sería conveniente prever un exceso de gálibo y anchura de la sección, con vistas a la puesta en obra futura de un revestimiento.

Además, dado el carácter singular de una obra de este tipo, el coste de la misma, y la práctica imposibilidad de acometer en ella actuaciones futuras sin cortar el tráfico, se deben establecer unos estándares generosos, que no hipotequen su funcionalidad y nivel de servicio a largo plazo.

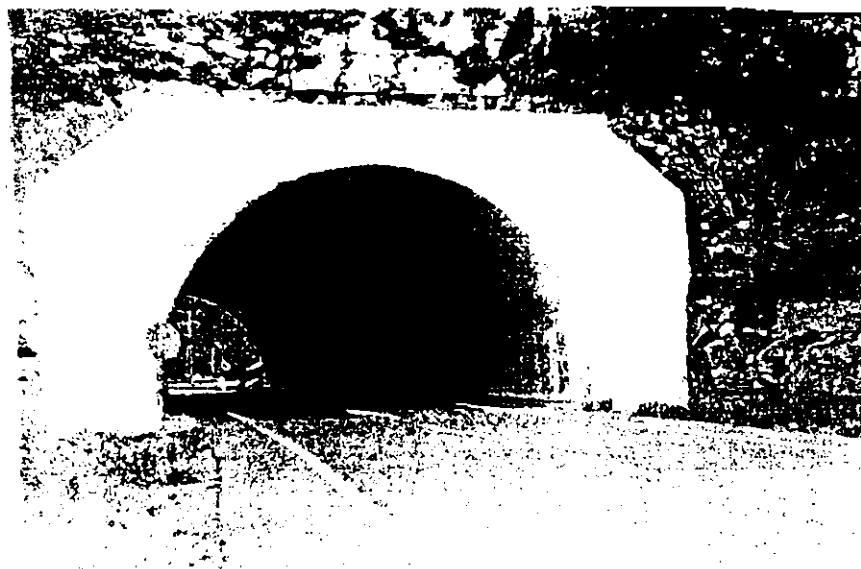


Cabe señalar que en un túnel largo siempre se debería proceder a su revestimiento interior ya que al mejorar su aspecto estético y circular el usuario por una obra bien terminada y bien conservada, guiado por una señalización concebida inteligentemente, se reduce notablemente la sensación de claustrofobia que normalmente se produce.

Por último, si bien el coste del revestimiento supone para un terreno de calidad media del orden de un 30% del coste total de la ingeniería civil, hay que tener en cuenta que esto no es del todo real, dado que de no revestir siempre se aconseja, al menos, disponer unas placas en los hastiales del orden de 2 a 3 m de altura y se exige realizar un sostenimiento de mayor dotación con alguna capa adicional de gunita, por lo que el sobrecosto se reduce a un 10/15%. Aún admitiendo que el revestimiento es caro, es oportuno recordar que la imagen de la obra la da siempre la terminación, y escatimar en ello es perjudicial. Los túneles se construyen para los usuarios, por lo que debe emplearse el dinero necesario para que su circulación resulte cómoda. La importancia del revestimiento no se aprecia hasta que no se ve un ejemplo de lo que podría haber sido y no fue.



Túnel en Villanúa. Antes y después de revestirlo.



3.2.4.- SUMINISTROS Y DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA.

El suministro de energía y su distribución son muy importantes tanto en condiciones normales como extraordinarias de funcionamiento, ya que cualquier fallo, un apagón o un déficit de ventilación, en los túneles de gran longitud, puede dar lugar a situaciones de agobio e incluso de verdadero pánico.

Es conveniente adoptar una acometida doble con redes independientes que proporciona una gran seguridad en la garantía de suministro. En el caso de



estaciones intermedias de ventilación es aconsejable, siempre que sea posible, la realización de tomas eléctricas por ellas, separándolas de las de las bocas para diversificar el riesgo. Además se disponen grupos electrógenos u onduladores que proporcionan un servicio restringido a una parte de los consumos en caso de avería generalizada en los suministros.

En todos los túneles se instalan equipos de alimentación ininterrumpida U.P.S., con baterías para los servicios prioritarios y con una autonomía media de 30 minutos.

Es conveniente adaptar, para la transmisión de energía a los túneles, una estructura en anillo, con un voltaje medio de 700 v que proporciona un ahorro importante en el suministro a los ventiladores y a las bombas, mientras que el resto de los servicios se alimenta a 400 v.

Los cables de distribución deben estar protegidos contra los choques y contra el fuego. En caso de incendio, no deban desprender humo ni gases tóxicos que hagan peligrar la seguridad de los usuarios.

Los circuitos de seguridad deben estar separados de los otros circuitos que alimentan al resto de servicios del túnel.

3.2.5.- INFRAESTRUCTURAS DE VENTILACIÓN.

Aunque la ventilación es un equipamiento vamos a tratarla también desde el punto de vista de la infraestructura de un túnel, dado que según el sistema seleccionado y dependiendo de la longitud es preciso realizar importantes obras de ingeniería civil.

Los tipos de ventilación varían desde la natural, debida a la diferencia de presión entre las bocas por condiciones climáticas, hasta la transversal, pasando por la longitudinal y la semitransversal.

En el Anejo adjunto se desarrolla y compara el funcionamiento de diversos sistemas de ventilación.

Dependiendo del sistema seleccionado y de las potencias a instalar, es evidente la amplitud de los trabajos de ingeniería a veces necesitados para la ventilación de los túneles, tanto por la importancia de los estudios que precisa (geología, medio ambiente) como por su incidencia financiera, siendo necesario que en el proyecto, el capítulo de "ingeniería de ventilación" atraiga la atención del proyectista desde el comienzo de los estudios. Bajo este vocablo se acostumbra a reagrupar:

* Por una parte los trabajos a realizar en el túnel propiamente dicho:

Falso techo y tabiques que delimiten los cantones.

Conductos de ventilación o bocas de insuflación y extracción.

Nichos en sobreexcavación para la ventilación longitudinal para alojar aceleradores.

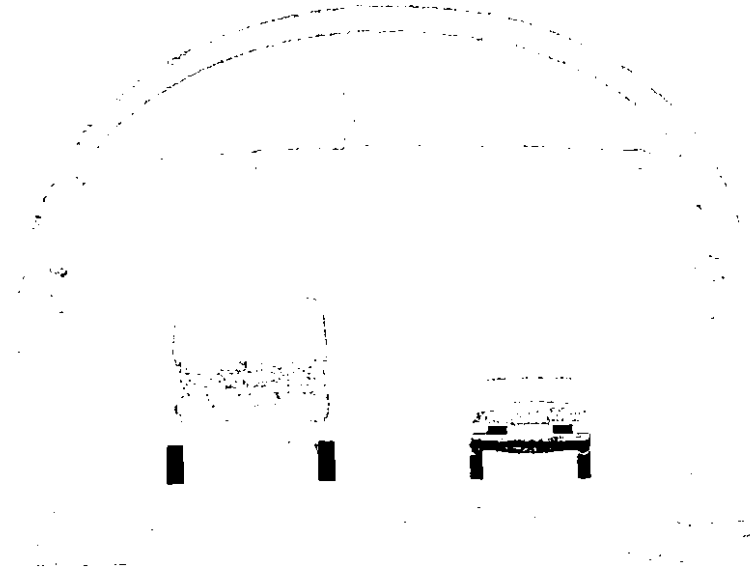
Por otra parte los trabajos suplementarios fuera del túnel:

Pozos o galerías para el paso del aire.

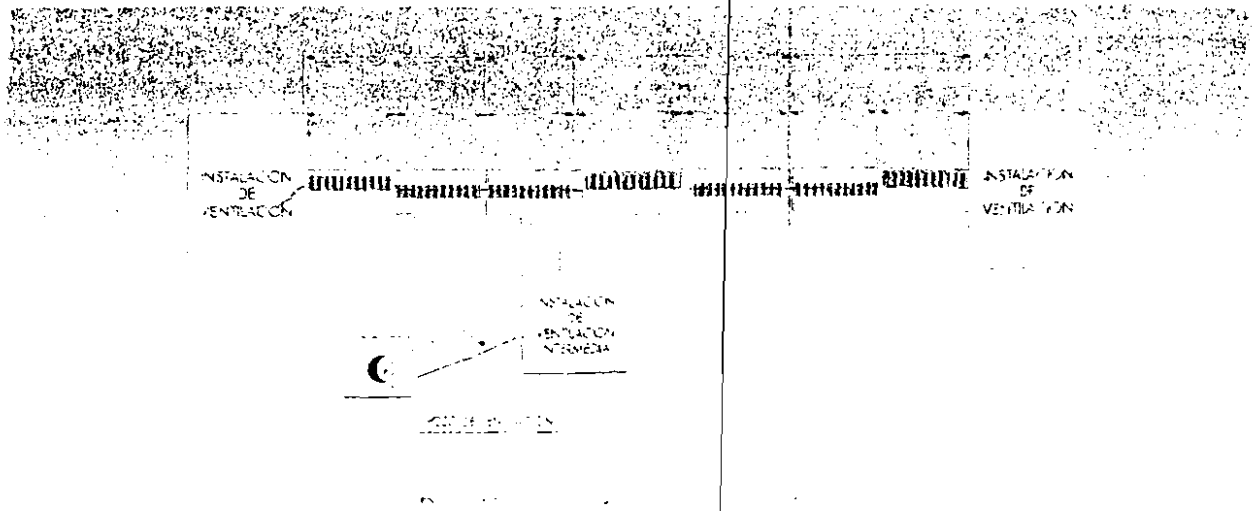
Galerías de enlace en el caso de conductos paralelos.

Estaciones de ventilación, etc.

3.2.5.1.- Falsos techos y compartimentos



Sección falso techo



División en cantones y compartimentos.

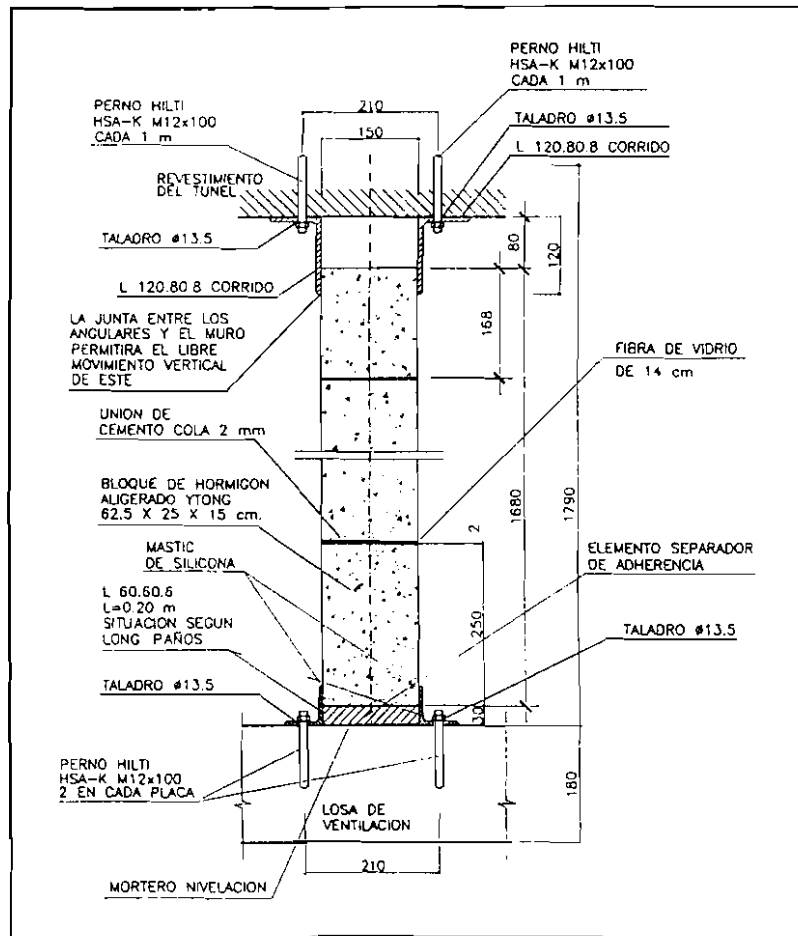
El dimensionamiento de los elementos constitutivos de los conductos de ventilación, falsos techos y compartimentos, debe tener en cuenta las diferentes cargas que les serán aplicadas en el transcurso de la explotación, a saber:

- El peso propio de las estructuras.
- Las presiones de aire máximas que derivan de los cálculos de ventilación (insuflación y aspiración).
- Las sobrecargas de explotación.
- La reacción y resistencia al fuego.
- Las sobrecargas de explotación a tener en cuenta dependen:
 - De la accesibilidad de los conductos que pueden estar reservados sólo al personal de explotación o accesibles a los servicios de socorro, e incluso a los usuarios para una evacuación de urgencia.
 - De los pasos de fluidos eventuales y de su condición de colocación.
- De las operaciones de mantenimiento y reparaciones.

En la actualidad el intervalo de sobrecargas de explotación que se tiene en cuenta, está comprendido entre un mínimo de $2,5 \text{ KN/m}^2$ y un máximo de 5 KN/m^2 , siendo un valor normal el de 350 Kg/m^2 .

En cuanto a la resistencia al fuego, se suele exigir el soportar una temperatura de 200° C durante 2 horas.

En el caso de los sistemas con falso techo, hay que asegurar una buena impermeabilización al aire entre, por una parte, allí donde las galerías transporten el aire viciado y por otra, la galería de aire fresco, y el túnel, evitando así por ejemplo el efecto de helada.



Esquema juntas.

Se cuidará especialmente la buena terminación del hormigonado, de forma que se disminuyan las superficies ásperas, y el buen tratamiento de las juntas, dado que el dimensionamiento de los ventiladores depende estrechamente de la rugosidad de los conductos de ventilación por las perdidas de carga que ello puede implicar y que se traduce en ahorros de energía en explotación.

Con miras a la explotación (para inspección, limpieza o reparación) es necesario prever facilidades de acceso a los conductos de ventilación. Es igualmente aconsejable prever un balizaje luminoso y a intervalos regulares tomas



de corriente para conectar lámparas transportables o pequeñas herramientas eléctricas.

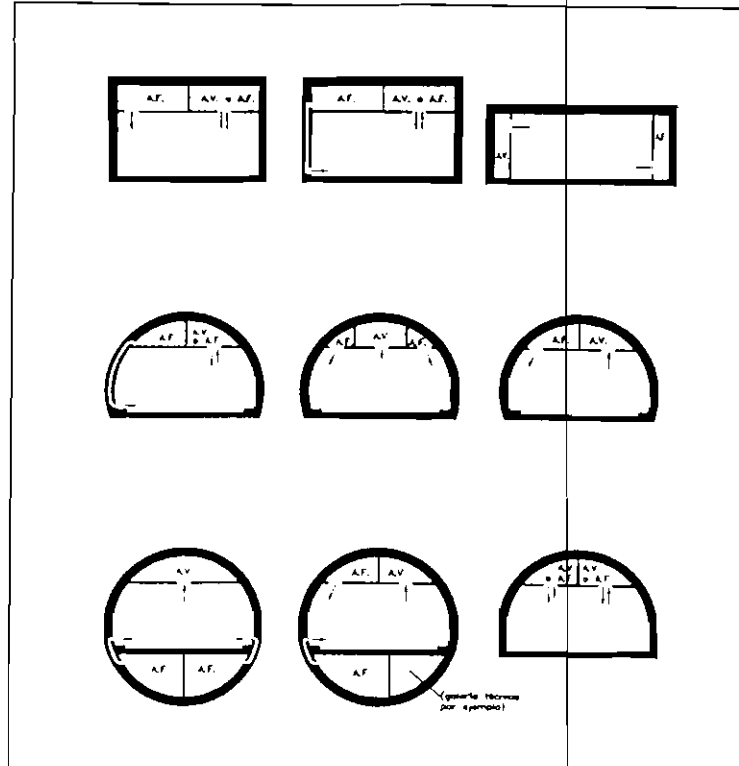
La altura mínima de los conductos en sección normal será de 1,80 m en el punto más alto (para la construcción y la explotación). En tramos cortos se podrá pensar en reducir esta dimensión.

Los conductos de aire fresco sirven habitualmente para el paso de cables (eléctricos o de telecomunicación) de grandes diámetros que no admiten débiles radios de curvatura. Hay que tener cuidado, en el momento de la concepción del falso techo, de prever las aberturas necesarias para el tirado y la colocación de estos cables.

3.2.5.2.- Comunicación entre los conductos de aire y el túnel

Según el sistema de ventilación adoptado, la forma de la obra, el número de vías de circulación, el número y la función de los conductos de aire (AV sólo, AF sólo o AF en funcionamiento normal pasando a AV en caso de incendio), se pueden adoptar disposiciones muy variables para asegurar la comunicación entre los conductos de aire y el túnel.

A continuación se acompaña una relación de diferentes disposiciones posibles para la insuflación y la aspiración de aire fresco (AF) y de aire viciado (AV).



Diferentes disposiciones posibles para la insuflación y la aspiración.



En cuanto a las características geométricas de las aberturas y de los conductos de humo, es difícil dar una norma general ya que están directamente relacionadas con su espaciamiento y con los caudales de aire a insuflar o extraer.

Habitualmente se suele tener en cuenta un caudal de aire unitario (fresco o viciado) del orden de 0,8 a 1 m³/s., lo que conduce a un espaciamiento de entre 2 a 10 m, para las bocas de aire fresco (variable según el número de conductos) y de entre 2 a 15 m para las bocas de aire viciado. Para las trampillas de deshumación se puede partir del principio de aspirar la totalidad del aire viciado por sección (paso 100 a 300 m).

Las dimensiones estandar de las bocas son de 20 x 50 cm² ó 30 x 30 cm² que permiten obtener una velocidad de 8 m/s. Las de las trampillas de deshumación suelen ser de 2,50 x 0,70 m² con una velocidad que puede variar de 8 a 15 m/s.

3.2.5.3.- POZOS Y GALERÍAS PARA EL PASO DEL AIRE

La elección de la implantación de los pozos de ventilación exige un estudio preciso de la geología y de la hidrogeología de los terrenos atravesados, y de las posibilidades de acceso a la obra de la boca de los pozos debiéndose tener también en cuenta el posible impacto ambiental que puede producirse.

El empalme con el túnel debe efectuarse preferentemente en terrenos de buena calidad.

Algunos emplazamientos favorables pueden llevar a concebir pozos inclinados de hasta 20°. Una galería de pendiente limitada y accesible a maquinaria de obras públicas puede resultar competitiva, al ser netamente menos costosa por metro lineal que un pozo vertical.

Habrà que tener especialmente en cuenta los problemas de impermeabilización para los pozos que llevan el AF, ya que pueden aparecer problemas de helada bajo el efecto de un aire demasiado frío.

3.2.5.4.- ESTACIONES DE VENTILACIÓN

El estudio de su implantación y de su dimensionamiento necesita ya desde los estudios preliminares un serio conocimiento de la geología y de los problemas planteados por el medio ambiente.



3.2.5.4.1.- Estaciones subterráneas

Estas estaciones plantean problemas específicos en razón de la importancia de su sección. De un modo general se tiende a no implantarlas más que en zonas de buen terreno. La elección de la forma de la sección (perfil abovedado o hastiales verticales) y de su orientación depende esencialmente de la estructura del macizo que encajona.

3.2.5.4.2.- Estaciones de superficie

Su implantación está en general condicionada por la decisión arquitectónica adoptada o por cuestiones de medio ambiente; hay que procurar que los circuitos de conexión con el túnel sean lo más sencillos posible y que los servicios de comunicación estén asegurados. Estas estaciones serán de fácil acceso con posibilidades de salidas. La implantación de los huecos de aspiración y de los expulsos de aire viciado será estudiada en función de las servidumbres locales (superficie, ruido, contaminación...).

3.2.6.- INFRAESTRUCTURAS DE SEGURIDAD.

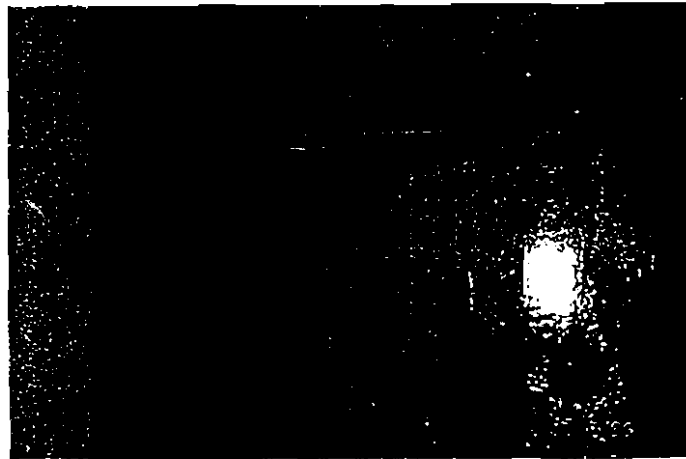
La necesidad de mejorar la seguridad de los usuarios y de alcanzar un funcionamiento óptimo de las instalaciones ha obligado a considerar otras infraestructuras de seguridad como las que se describen a continuación:

- Nichos de seguridad, constituidos por pequeños recintos de longitud doble que su anchura y una altura de 2,50 m. Están equipados con detectores de opacidad, cuadros eléctricos, postes S.O.S. y extintores.
- Nichos contra incendios, tienen las mismas dimensiones que los anteriores y están dotados de postes S.O.S., extintores, cuadros eléctricos, analizadores de CO e hidrante. Suelen estar situados frente a los anteriores y la distancia entre ellos suele ser de unos 200 metros.
- Abrigos (Refugios), son recintos capaces de albergar un número de personas variable entre 50 y 100, durante el tiempo que dure un incendio. La distancia entre ellos todavía es motivo de discusión, aunque oscila entre los 700 y 1000 metros. Su equipamiento es completo con objeto de garantizar una estancia prolongada, disponiendo de altavoces y televisión para la recepción de mensajes. El sistema para su ventilación es totalmente independiente del resto del túnel.

- Hay que señalar el efecto psicológico que supone su utilización, un espacio cerrado en el interior de un macizo rocoso es un freno para su uso, no obstante, colores claros, buena iluminación y una adecuada información es fundamental en el éxito de su función.



Nicho de seguridad. Túnel de Frejus (Francia)



Instrucciones al usuario en un refugio. Túnel de Puymorens (Francia)

Estos tres tipos de infraestructuras de seguridad están dotados de puertas cortafuegos que las aíslan del túnel colindante, con interruptores de forma que la apertura de cualquiera de ellas quede señalada en la Sala de Control, y un servicio



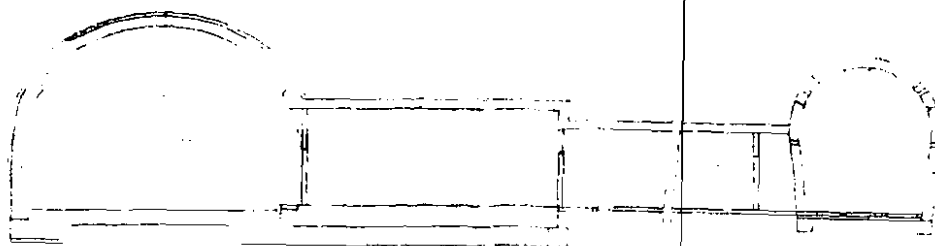
telefónico que las conecta con los Equipos de seguimiento de la explotación. En todos los casos se encuentran presurizadas para impedir la penetración del ambiente existente en el exterior.

-Galerías de retorno. Estas infraestructuras tienen una sección transversal igual a la del túnel, su disposición es perpendicular a él y tienen una longitud suficiente para permitir entrar un camión de gran longitud.

Su función es permitir el cambio de dirección de los vehículos que se encuentran aguas arriba de un incendio para salir marcha adelante por la misma boca que entraron; los vehículos que se encuentran aguas abajo del incendio salen del túnel sin tener que hacer maniobra.

-Apartaderos. Se suelen colocar en la margen derecha de la circulación del túnel. Sus dimensiones suelen ser de unos 3 metros de ancho por 30 m de longitud o algo más. Permiten hacer las funciones de las galerías de retorno y apartar de la circulación un vehículo averiado en sus proximidades, en estas condiciones tienen la ventaja de no tener que señalizar el vehículo parado por lo que no tiene afección a la circulación. Los apartaderos son más intuitivos para los usuarios, siendo más fácilmente utilizados en caso de emergencia o en caso de indisposición de algún pasajero.

-Galerías de evacuación. Cuando el túnel tiene más de 5 km de longitud es conveniente disponer una galería paralela de sección reducida conectada con el túnel principal, cada 800 m aproximadamente, para la evacuación de los usuarios en caso de incendio.



Galerías de evacuación previstas en el túnel de Somport, lallo España

3.2.7.- EQUIPAMIENTOS COMPLEMENTARIOS RELACIONADOS CON LA INFRAESTRUCTURA.

Dentro de este apartado consideramos los equipamientos siguientes:

-Red de agua contra incendio.

-Conductos de aire a presión.

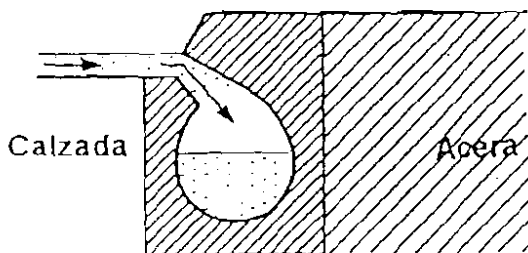
-Caz para la recuperación de vertidos contaminantes.

*La red de agua contra incendio es importante para alimentar los hidrantes que se colocan en el interior del túnel, esta red está auxiliada por bombas de presión que mantienen ésta a un nivel adecuado a las características geométricas del trazado en alzado adoptado para el túnel (diferencia de cotas en los puntos singulares del túnel); además se suelen disponer válvulas de seccionamiento que permiten aislar tramos del túnel para operaciones de mantenimiento.

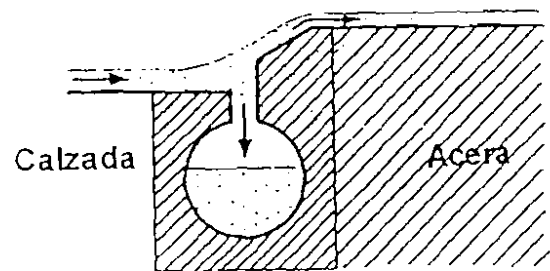
*Los conductos de aire a presión que provienen de las estaciones de ventilación y llegan a las infraestructuras de seguridad, permiten mantener a sobrepresión todos los locales del túnel, con objeto de impedir la entrada de polvo procedente de la parte destinada a la circulación de vehículos y mantener los equipamientos allí dispuestos en las mejores condiciones de limpieza y de uso.

*El caz para la recuperación de vertidos contaminantes o de líquidos inflamables es un elemento que se dispone debajo de la acera más baja del túnel; para ello a la sección transversal de la calzada se le dota de un peralte constante en toda su longitud.

Este caz puede ser de abertura horizontal o vertical, disponiéndose a todo lo largo del túnel. El conducto está dotado de unos sifones dispuestos cada 50 m, excepcionalmente cada 100 m, para actuar de corta fuegos y evitar los riesgos de explosión en su interior.

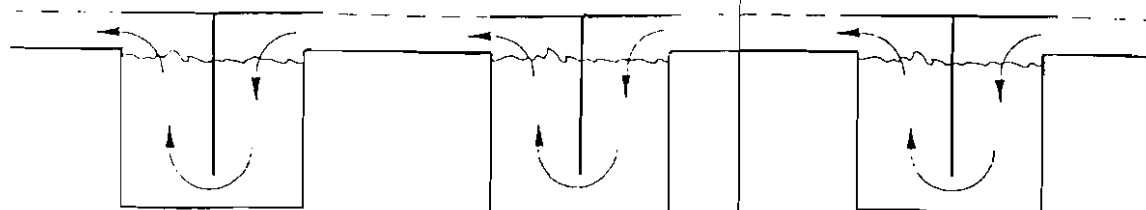


Abertura vertical

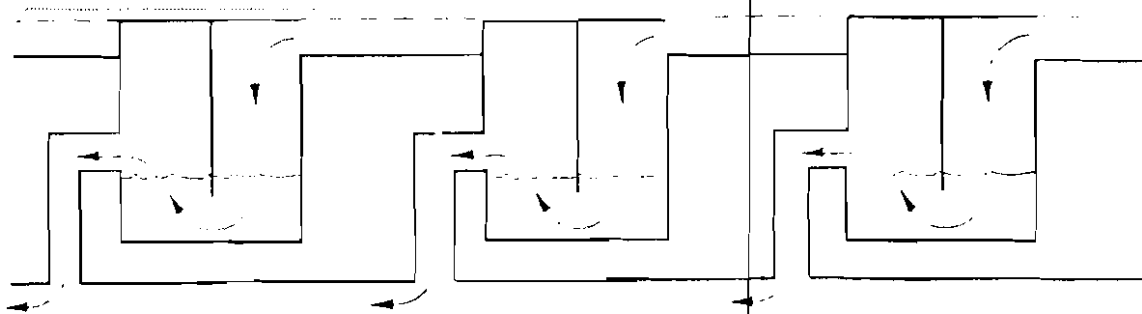


Abertura horizontal

Su disposición puede ser en serie o en paralelo.

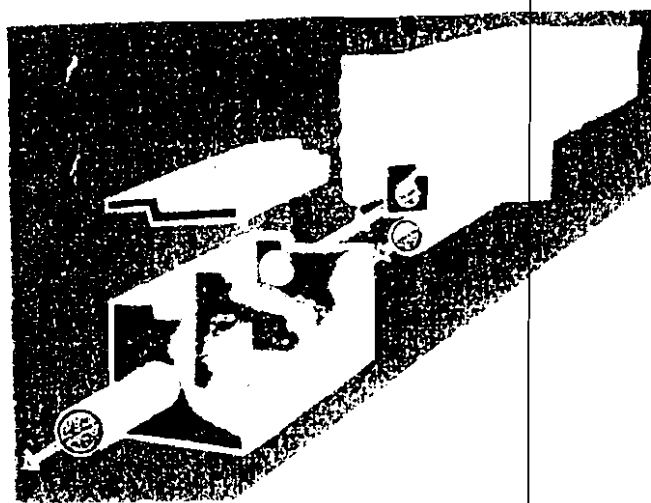


En serie



En paralelo

El primero se usa para túneles cortos en los que el líquido que sale de un sifón vuelve al caz del tramo siguiente y así hasta el exterior, el montaje en paralelo se usa en túneles largos y las salidas de los sifones están conectadas con el colector de recogida. Al final de este conducto, y fuera del túnel, se disponen unos depósitos a los que llega el efluente después de un sifón final, que permiten tratar el vertido antes de su disposición por los cauces naturales.



Corte esquemático de los sifones



Corte esquemático de los sifones

3.2.8.- PAVIMENTO.

En lo referente al pavimento conviene cierta homogeneidad entre el interior y el exterior del túnel, para no incrementar la sensación de cambio en el conductor, aunque existe la opinión de que es mejor un color más claro en el interior para compensar la peor iluminación. Es importante una primera capa de subbase drenante, que debe tener garantía de su desagüe por gravedad, aunque con explanada rocosa bastaría un hormigón pobre de regularización.

Los pavimentos rígidos de hormigón tienen la ventaja de su mayor duración y menor mantenimiento, pero presentan el gran inconveniente de que cuando se precisa su reparación obligan al corte temporal del tráfico. Su color más claro es otro aspecto a su favor.

En España es más frecuente el uso de pavimentos bituminosos en el interior de los túneles, por su mejor drenaje superficial, lo que es bueno en zonas con goteos, por producir menos ruido, sobre todo si es poroso, y por mantener la continuidad con el pavimento exterior que suele ser de firme negro. Como contrapartida obliga a dotar de mayor iluminación al túnel.

3.2.9.- SEÑALIZACIÓN.

La distribución de la sección transversal tiene influencia en la seguridad. En túneles bidireccionales no es conveniente que los vehículos se crucen muy cerca, por lo que a veces para evitarlo se dispone en la parte central de la sección una banda de 1 m de anchura que separe ambas circulaciones, solución que permite seguir manteniendo la implantación de un arcén de separación entre el carril y la acera que se dispone a la derecha. En estas circunstancias el usuario tiende a recorrer el túnel a una velocidad superior al límite máximo establecido, existiendo además el inconveniente de que con una mediana pintada de 1 m de ancho no se permite la circulación de vehículos sin alterar el tráfico, cuando existe en la calzada un vehículo de mantenimiento o averiado. En estas condiciones es mejor eliminar el arcén, ensanchar la mediana y acercar el carril a la acera, con lo que los usuarios circulan a una velocidad más ajustada a la máxima que se permite en túnel, que suele ser de 80 Km/h ó 90 km/h en túneles bidireccionales.

En los túneles de un sólo sentido de circulación no ocurre el fenómeno antes expresado y por ello la distribución de la sección transversal se asemeja a la existente en el exterior, llegando a las distribuciones que se aconsejan en el punto 2.2. Geometría de la Sección Transversal.

La señalización vertical también es fundamental para garantizar la seguridad en la circulación por el túnel y para mejorar la explotación, sin embargo este apartado se desarrollará junto con el resto de los equipamientos.



3.3.- PRECAUCIONES DIVERSAS SOBRE LA INFRAESTRUCTURA CON RESPECTO AL FUEGO.

Los túneles son más o menos sensibles a un incendio dependiendo de si están excavados en un buen o mal terreno, de si están revestidos o no, si poseen láminas de impermeabilización, si existen cubiertas metálicas ligeras, falsos techos prefabricados de hormigón, etc.

Existen dos criterios esenciales que sirven de base para la apreciación del comportamiento ante el fuego de los materiales y elementos de construcción:

-La reacción al fuego, es decir lo que puede alimentar el fuego y contribuir a su desarrollo.

-La resistencia al fuego, es decir el tiempo durante el cual los elementos de construcción pueden desempeñar el papel que les corresponde, a pesar de la acción del incendio.

En lo referente a la reacción al fuego, los materiales se clasifican según la cantidad de calor desprendida durante la combustión y según la presencia o ausencia de gases inflamables. También se tiene en cuenta la opacidad y toxicidad de los humos.

Se establecen categorías desde el material menos combustible hasta el más: M0, M1, M2; M3 y M4.

El hormigón, el vidrio, la piedra, el ladrillo, el fibrocemento, se clasifican como M0.

Respecto a la resistencia al fuego, los materiales se clasifican atendiendo a los siguientes criterios:

- 1) Resistencia mecánica, lo que significa estabilidad del elemento de construcción y mantenimiento de la función mecánica.
- 2) Hermeticidad a las llamas y a los gases tóxicos.
- 3) Ausencia de emisión de gas inflamable en la cara del elemento no expuesta al incendio.
- 4) Aislamiento térmico



De esta manera se pueden clasificar en: estables al fuego, parallamas y cortafuegos y dentro de cada categoría existe un "grado" en función del tiempo durante el cual el elemento satisface los criterios mencionados.

Se realizan ensayos de resistencia al fuego, utilizando la curva normalizada temperatura/tiempo, o curva ISO (International Standards Organization), que tiene la siguiente ecuación:

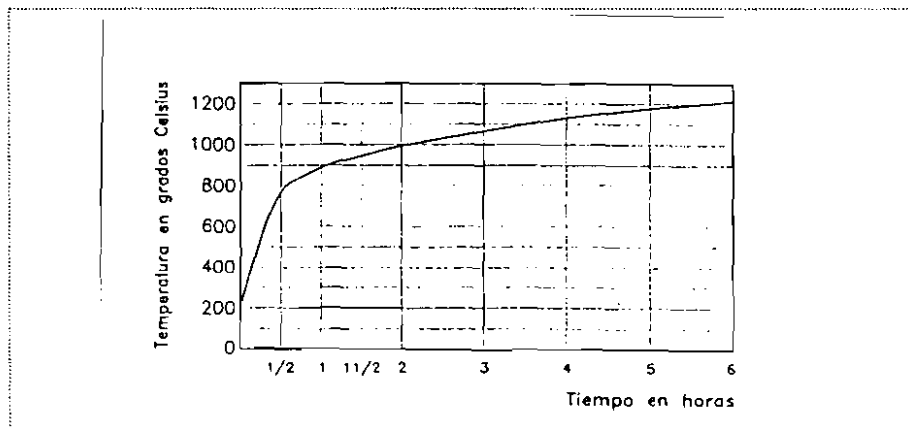
$$T - T_0 = 345 \text{ Lg } 10 (8 t + 1)$$

T_0 = Temperatura inicial $t=0$ (en grados)

T = Temperatura alcanzada en un tiempo t (en grados)

t = Tiempo medido en minutos

$T-T_0$ = Representa la evolución de la temperatura



Curva de evolución de la temperatura en una combustión.

A título indicativo, se puede señalar que para un muro expuesto al fuego por una sóla cara, en 1 h 3/4 se alcanza una temperatura de 450°C en un espesor de 4,5 cm. El tipo de fuego considerado es el normalizado de la curva ISO.

A continuación se detalla un cuadro en el que se establecen algunas de las exigencias del comportamiento al fuego de los elementos y estructuras de un túnel carretero.



| ELEMENTOS | REACCIÓN AL FUEGO (Combustibilidad) | |
|--|--|---------------------------------------|
| | M0 EXCEPCIONALMENTE M1 | |
| MATERIALES GENERALES DE CONSTRUCCION | | |
| ESTRUCTURA | RESISTENCIA AL FUEGO | |
| | ESTABILIDAD AL FUEGO GRADO H (SF) | CORTA-FUEGOS GRADO H (CF) |
| EXIGENCIA MINIMA <i>Puede ser aumentada (tiempo de intervención de los socorros o consecuencia de una indisponibilidad del túnel)</i> | 1 | |
| EXIGENCIA MAXIMA | 4 | |
| TUNEL NO REVESTIDO | SIN EXIGENCIA PARTICULAR | |
| TUNEL REVESTIDO DE HORMIGON PROYECTADO | 1 | |
| TUNEL REVESTIDO DE HORMIGON EN MASA | 1 | |
| FALSO TUNEL | 2 | |
| CUBIERTA LIGERA (Ej.: Protección Fónica) | 1 | |
| TUNEL SUMERGIDO | 3 | |
| MUROS O PAREDES MEDIANERAS DE TUNEL INTEGRADO EN UN INMUEBLE HABITADO U OCUPADO | | 4 (IGH) 3 (ERP) 2 (Otros Casos) |
| FALSO TECHO QUE DELIMITA UN CONDUCTO DE VENTILACIÓN | 2 | |
| CONDUCTO UTILIZADO PARA LA EVACUACION DE LOS USUARIOS | 2 | |
| PARED QUE SEPARA 2 CONDUCTOS DE VENTILACION | | 1 |
| PUERTA DE COMUNICACION ENTRE EL TUNEL Y LOCAL TECNICO | | 1 |
| SEPARACION ENTRE TUNEL Y ESTACION DE VENTILACION SITUADA ENCIMA | MISMO GRADO DE ESTABILIDAD AL FUEGO QUE EL TUNEL | |
| PUERTAS ENTRE TUNEL Y GALERIA DE EVACUACION DE LOS USUARIOS | | 1 |
| PUERTAS Y TABIQUES DE REFUGIO | | 2 |

IGH = Edificios de gran altura
ERP = Establecimientos clasificados para riesgos de incendios

Exigencias del comportamiento al fuego de los elementos y estructuras de un túnel carretero.

3.4.- ACTUACIONES EN LA INFRAESTRUCTURA DE LOS TÚNELES EXISTENTES PARA MEJORAR LA SEGURIDAD EN LA EXPLOTACIÓN.

Aunque no es del todo cierto, sí podríamos afirmar que en los túneles, el carácter de la obra ejecutada es irreversible e inmodificable, dadas las dificultades que se plantean a la hora de hacer modificaciones en la infraestructura, por lo que conviene ser lo más realista posible en la estimación de los parámetros que nos llevan al diseño del trazado y fundamentalmente de la sección transversal, es decir; forma geométrica, anchura de calzada, inclinación de la rasante, altura libre

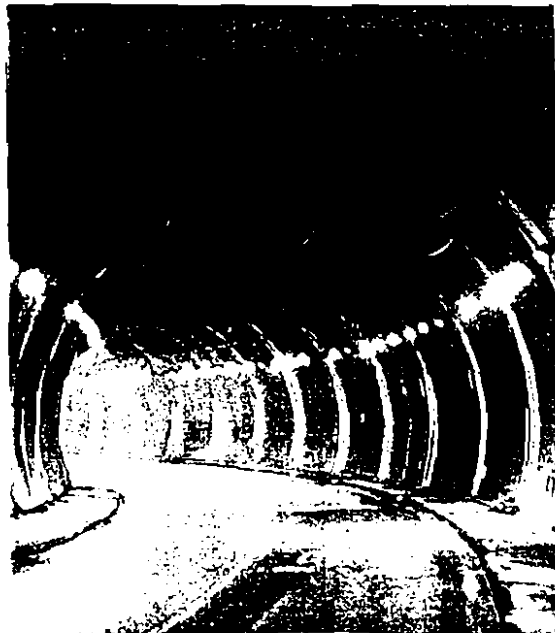


mínima, superficie de ventilación, anchura de las aceras, sobreeanchos laterales, etc.

La economía del proyecto y de la obra en general reside en una buena estimación de necesidades futuras de manera que no se plantee nunca el problema de la escasez de espacio o la falta de nivel de servicio del túnel. Por contra, unos metros cuadrados de más en la sección transversal pueden suponer un gran gasto adicional debido a la gran longitud relativa del túnel. Así por ejemplo si durante la ejecución de la obra no existe disponibilidad presupuestaria para revestir el túnel, o no se estima necesario en ese momento, debería preverse un exceso de gálibo y anchura de la sección con vistas a la puesta en obra futura de un revestimiento.

Sin embargo hay que tener en cuenta que el patrimonio de túneles en España es importante. Hay túneles con cierta antigüedad o construidos con objetivos y requisitos diferentes de los actuales, que deben ser reparados. Es normal que los túneles envejecen, pierdan calidad y deban ser rehabilitados en algunos casos, modificados en otros o incluso reconstruidos. Las distintas actuaciones posibles que es preciso realizar en la infraestructura de los túneles existentes para mejorar la seguridad pueden clasificarse en cuatro categorías principales:

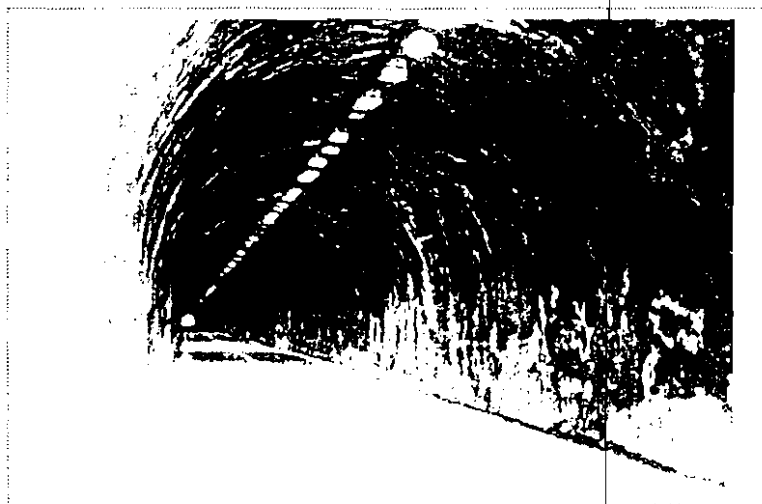
- a) *Reparación del sostenimiento / revestimiento*, con el fin de recuperar la integridad estructural amenazada por el aumento de la presión del terreno, deterioro de los materiales, pérdidas de resistencia, lavado y oxidación de los componentes, etc., o simplemente por la necesidad de aplicar un revestimiento, incluso prefabricado, allí donde no se disponga, para proteger las capas del sostenimiento y mejorar el confort, como las actuaciones realizadas en su día en el túnel de Viella.





Túnel de Viella

Dentro de este apartado podríamos incluir aquellos túneles antiguos de montaña que no disponen de ningún tipo de sostenimiento, que con el paso del tiempo y el aumento del tráfico se ha presentado la necesidad de aplicar un tratamiento, previo saneo del terreno. Tal es el caso en la actualidad del túnel de Cotefablo en la carretera N-260 y del túnel de Obarra en la carretera A- 1605, ambos en la provincia de Huesca, por no citar otros muchos ejemplos.



Túnel de Cotefablo

b) Cambios de galibo, como consecuencia del aumento de las necesidades funcionales, por precisar de mayor anchura al haberse mejorado la plataforma del resto de la vía, por disponer de una altura mínima muy estricta o sencillamente por la necesidad de mejorar algún equipamiento, desde la ventilación hasta la disposición de nueva señalización.

c) Problemas hidráulicos. El agua, omnipresente en el terreno, encuentra en el túnel una nueva y gran vía de drenaje. Con el tiempo las circulaciones de agua hacia el túnel se incrementan llegando a dificultar su funcionalidad gravemente. Por lo tanto puede ser necesario rebajar el nivel freático, reparar la solera del túnel, impermeabilizar el perímetro, repasar los sistemas de drenaje si los hay, resolver los problemas de carbonatación, etc. Túneles de Viella, Ip ó Villanúa.



Túnel de Ip.

d) Reacondicionamiento del túnel, que surge por la necesidad de mejorarlo, acomodándolo a las nuevas exigencias funcionales, pudiendo ser necesario realizar operaciones tales como creación de nuevos espacios, tanto para el personal de mantenimiento (nichos y aceras) como para la protección y evacuación de los usuarios (nuevas galerías, conexiones entre túneles próximos, refugios, escapes), cambio de instalaciones que implican variaciones de la sección y/o obra civil de cierta consideración. Por ejemplo actuaciones realizadas en el túnel de Montblanc y Frejus.

En otro orden de casos las mejoras más importantes que pueden realizarse para mejorar la seguridad en la explotación de los túneles existentes es actuando sobre los equipamientos, aspecto este que muchas veces exige operaciones importantes dado que muchos túneles de alta montaña sufren una serie de condiciones que limitan las posibilidades de implementación de los sistemas y mucho más de instalación de un centro de control, dada la gran distancia hasta las redes de comunicación convencionales, densidad de tráfico limitada, que impide justificar grandes inversiones, dificultades de acceso, sobre todo en época invernal, dificultades en el tendido de líneas de comunicación de buena calidad, problemas para establecer enlaces de radio, por la dificultad orográfica, etc. Sin embargo esto ya es objeto de la siguiente ponencia.



3.5. NUEVOS DISEÑOS PARA LA SEGURIDAD

Todas las actuaciones y mejoras en la infraestructura de un túnel y la dotación de todo tipo de equipamientos son necesarios si se quiere obtener un nivel de seguridad en el interior de la obra similar al que se tiene en todo el tramo de carretera en el que se ubica el túnel. Sin embargo, no hay que olvidar las restricciones presupuestarias que impone la necesidad de evaluar la seguridad en un análisis costo-beneficio para maximizar la seguridad a partir del presupuesto disponible.

La problemática que se deriva de los túneles de carretera, y fundamentalmente de los de gran longitud, es muy compleja, ya que a las dificultades propias de funcionamiento de las instalaciones y equipamientos se añade el comportamiento de las personas en su interior que, en caso de siniestro, pueden conducir a comportamientos patológicos.

No hay duda de que hay que racionalizar la utilización de las instalaciones básicas de ventilación, iluminación, etc... En el norte de Europa, Suecia y Noruega, tienden a tipificar los distintos eventos que se producen en el interior de un túnel, en el primer país se han establecido categorías de incendios para evaluar las necesidades de ventilación de túneles. La Nordik Road Association (N.V.F.) divide los fuegos de los túneles en tres categorías, el producido por un coche, por un V.P. y por un vehículo cisterna para hacer frente a unas necesidades de 1,5 m/s, 3 m/s ó 5 m/s. Con respecto a la iluminación, se están elaborando unas nuevas recomendaciones por parte del Comité de Túneles, compuesto por representantes de Suecia, Noruega, Finlandia y Dinamarca, que tiene por misión la concepción, la explotación y el mantenimiento de ellos.

Los equipamientos complementarios serán tan sofisticados como se produzcan los avances de la ciencia y, por tanto, su aplicación dependerá de sus posibilidades de desarrollo.

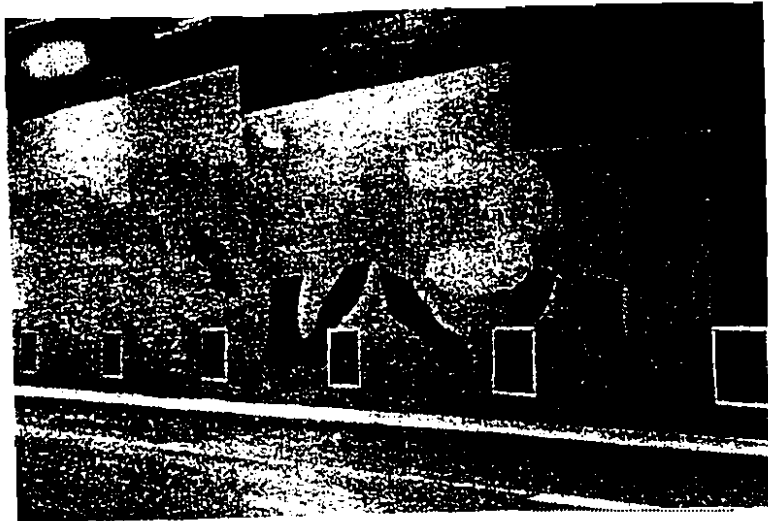
Uno de los asuntos que actualmente más preocupa es minimizar el efecto de claustrofobia en los túneles largos, utilizándose para ello dibujos en los hastiales para llamar la atención sobre el emplazamiento de las infraestructuras de seguridad, se emplean también luminosidades más elevadas y variables en algunas zonas del túnel para transmitir al usuario la sensación de encontrarse en el exterior. Otra forma de conseguir este efecto es colocando delante del hastial paneles translúcidos con luces tenues detrás, a base de colores rosas, amarillos, verdes y azules. En algunas ocasiones junto a las zonas de juegos de luces se han construido jardines artificiales como es el caso de los túneles de la M-40 en Madrid. Sin embargo todas estas actuaciones se encuentran todavía en plan experimental.

La atención al usuario es primordial para mejorar la gestión del túnel, minimizando los incidentes y accidentes, y mejorando la imagen del túnel y, por lo tanto, del eje en el que se encuentra. Esta atención al usuario se expresa cuidando

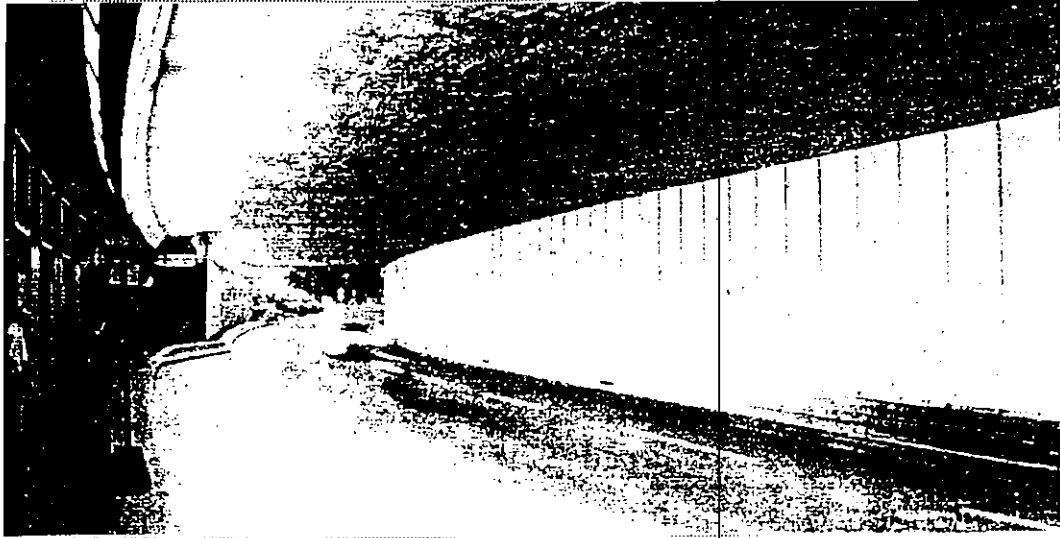
los aspectos del túnel relacionados con él, tales como aumento de la seguridad vial, diseño de un sistema que permita un mantenimiento sencillo, inducir una buena comprensión del túnel por parte del conductor y mantener la atención del conductor frente a los riesgos del efecto pared, la monotonía y la somnolencia.

Una de las primeras medidas para dar la adecuada atención al usuario es conseguir un trazado adecuado, cosa que en un túnel en servicio no es normalmente posible actuar sobre él, de manera que una forma de proceder, amén de dotar de todos los equipamientos necesarios es mejorar el guiado de los vehículos mediante un revestimiento pensado para el usuario, no monótono y de calidad.

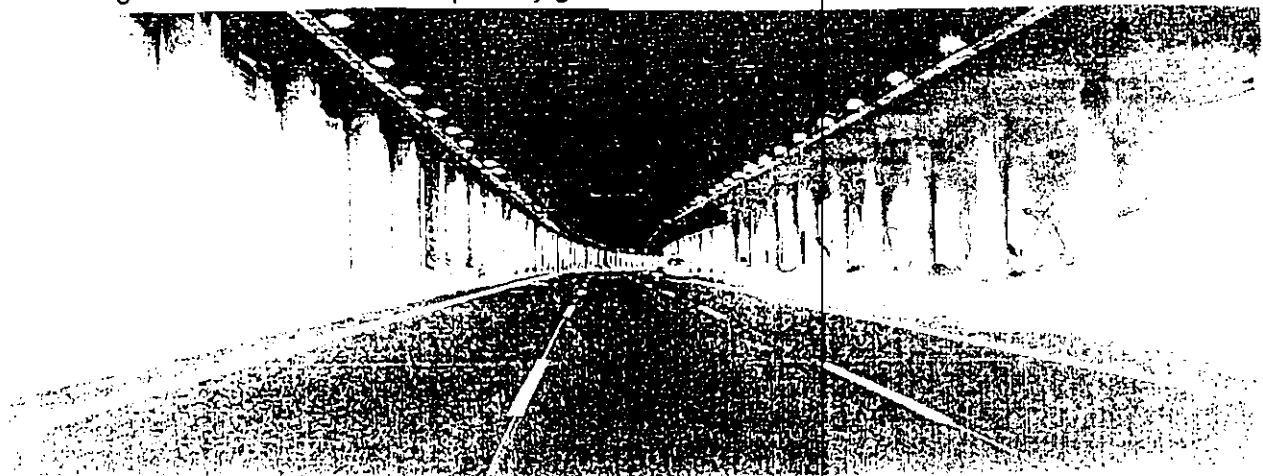
El revestimiento debe estar pensado jugando con la variación cromática de la calzada respecto a la de los hastiales y la bóveda, para obtener el deseado efecto de guiado, y los materiales y colores a disponer. Deberá ser limpiable, duradero, no inflamable y en el caso de tratarse de elementos adosados al hastial, disponer de anclajes adecuados para resistir eventuales colisiones. Los humos de los vehículos acaban matando los colores e instalando un ambiente gris. Una adecuada explotación del túnel debe incluir un programa de limpieza de la señalización y del revestimiento.



Medidas tendentes a minimizar el efecto



Hoy en día existe una amplia y eficaz cooperación entre la OCDE y la AIPCR en Programas de Investigación del Transporte por Carretera que no dudamos será fructífera y permitirá avanzar en la profundización de los problemas expuestos, de forma que en un futuro no muy lejano obtengamos niveles de seguridad más altos de los que hoy gozamos.



Túneles de la M-40 (Madrid)