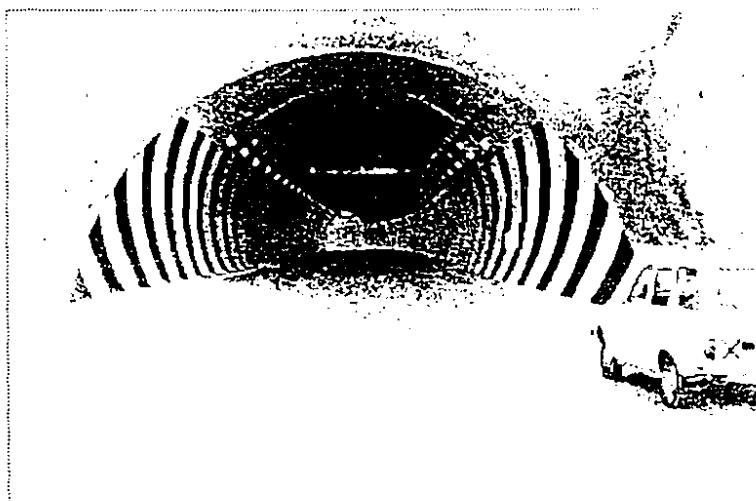


Tuneles M-40



Medidas tendentes a reducir los efectos de la claustrofobia

3.6. CONCLUSIONES A MODO DE REFLEXION

No hay ninguna actividad humana que sea intrínsecamente segura; la seguridad absoluta no existe y el riesgo que de ello se deriva debe ser asumido por la sociedad, riesgo que se evalúa en términos de probabilidad de que ocurra un accidente por sus consecuencias.

En principio, un túnel debe y tiene que ser tan seguro como el cielo abierto. Es misión de los expertos en seguridad aplicada a las obras subterráneas definir el conjunto de infraestructuras, instalaciones y equipamientos que hagan cierta la afirmación anterior.



Sin embargo, no podemos olvidar una variable muy importante por su influencia en las consecuencias del suceso; esta variable se encuentra en la respuesta que formulamos a continuación, ¿es consciente el usuario de un túnel de cuáles son los elementos de seguridad puestos a su disposición y cómo se usan eficazmente?.

Se considera necesario un nivel equivalente de seguridad en todos los túneles. Esto implica que el usuario del túnel corre los mismos riesgos en los distintos tipos de túneles. Además el usuario puede esperar que la utilización de un túnel no conlleve riesgos excepcionales. La seguridad del túnel se debe incluir al menos en un plan de un nivel equivalente o mayor que el de una sección similar de carretera. La estructura en su totalidad tiene un efecto sobre la seguridad. Por tanto, contribuyen o no a la seguridad no sólo la ingeniería civil sino también los sistemas electro-mecánicos.

La consecuencia de la necesidad de que el nivel de seguridad esté a un nivel equivalente en los distintos tipos de túneles debe estar en el hecho de que un túnel con poco tráfico será, en términos generales, satisfactorio si se toman pocas precauciones. Por otro lado, un túnel con mucho más tráfico requiere más precauciones para conseguir un nivel de seguridad equivalente.

Como ya se ha dicho anteriormente, el riesgo que corre el usuario de la carretera debe ser aceptable socialmente, pero también coherente con la red en su totalidad. Ambicionar un nivel de seguridad óptimo, puede llevar a instalar precauciones caras y quizá innecesarias. Sería mejor, antes de nada, responder a la pregunta de qué riesgos se consideran aceptables y desde ese momento hacerse cargo del tema.

La seguridad no implica una mayor cantidad de una misma cosa. Se debería hacer uso de una mayor creatividad en la búsqueda de soluciones más seguras y, si es posible, que no sean más costosas. En un buen diseño se lleva a cabo una utilización óptima de las estructuras y de los sistemas técnicos. Pensar en la seguridad puede incluso dar como resultado sistemas y estructuras más simples, y por lo tanto, más baratas. Es de más interés pensar en la fiabilidad de las precauciones y el modo en que se realizan las mismas.

En el caso de un accidente o incidente, además de una detección rápida del mismo, es precisa una actuación también rápida de los equipos de rescate, por lo que deben preverse aquellas infraestructuras que permitan una buena accesibilidad al lugar del siniestro. Por ello si es factible, a partir de una determinada longitud de túnel siempre sería conveniente disponer de una galería paralela con gálibo suficiente para que los equipos puedan acceder al sitio sin interferencias entre ellos. Sin embargo, cabe preguntarse:

¿Cuál es la longitud mínima de un túnel que obliga a construir esa galería paralela?. ¿Cuál es el punto de equilibrio entre incremento de inversión en seguridad y factor riesgo?.



¿No hay otras medidas que puedan racionalizar la explotación de forma que las inversiones efectuadas no sean excesivas y, sin embargo, exista una seguridad aceptable?. En principio parece que sí, dependen del tráfico (IMD) y de su composición (porcentaje de pesados y número de pesados con mercancías peligrosas), y de las estrategias de explotación.

Por último resaltar que existe una gran heterogeneidad en el tratamiento y en las características geométricas de los túneles, por lo que parece aconsejable la elaboración de una Normativa o Recomendaciones que encarguen de la homogeneización de las soluciones dadas a la Ingeniería Civil, Instalaciones y Equipamientos, Seguridad, Comunicaciones, etc., con objeto de conseguir que la red de este tipo de infraestructuras sea coherente, con un tratamiento unitario para la Concepción y Proyecto, Construcción y Explotación.



3.7. BIBLIOGRAFIA

- Túneles de carretera. Enero 1977. Ignacio Morilla Abad
- XVIII Congrès Mondial de la Route. Bruxelles 1.987
- XIX Congrès Mondial de la Route. Marrakech 1.991
- Arquitectura de Bocas de Túneles. CETU (Lyon. Francia) Julio 1991
- Túneles para Europa. Grandes perforaciones pirenaicas y alpinas. París, diciembre 1992. Túnel de Somport. André Thiboud y Michel Decopons
- Proyecto de Ingeniería Civil parte española del Túnel de Somport. Enero 1992
- Congreso Internacional de la ITA. Amsterdam 1993. Opciones para túneles. Túnel de Somport. Michel Marec
- Jornadas Técnicas Sobre Túneles. La Seguridad en la Construcción y en Servicio. Gijón. 1.994
- Essais hydrauliques des systèmes de recueil des liquides répandus sur la chaussée des tunnels routiers. S. Lingelser. CETU. 1.994
- XX Congrès Mondial de la Route. Montréal 1.995
- Safety in Roads and Rail Tunnels. Second International Conference. Granada 1.995
- Full size testing of drainage systems for buruing liquids in Road Tunnels. Didier Lacroix, Eric. Casale, Claude Cwiklinski et André Thiboud. 1.995
- Proyecto de las Instalaciones y Equipamientos del Túnel de Somport. Parte Española. 1.996
- II Simposio de túneles. Explotación, Seguridad, Conservación y Reparación. Jaca, mayo 1998



-El Túnel. La Carretera enterrada. XXII Semana de la Carretera. Islas Canarias, octubre 1998. José Antonio Hinojosa Cabrera y Luis del Cañizo Perate

-Revista "Carreteras", Mayo-Junio de 1999. TRIBUNA: "Reflexiones sobre Seguridad a consecuencia del incendio acaecido en el túnel de Montblanc el 24 de marzo de 1999". Rafael López Guarga.

-Curso sobre túneles y pasos inferiores de carreteras: aspectos no geotécnicos. INTEVIA. Madrid, abril de 1999

-Curso de diseño y explotación de Sistemas de Seguridad en Túneles. Barcelona, junio de 1999

3.8. ANEXO: SISTEMAS DE VENTILACIÓN

3.8.1- SISTEMA SEMI-TRANSVERSAL REVERSIBLE (V1)

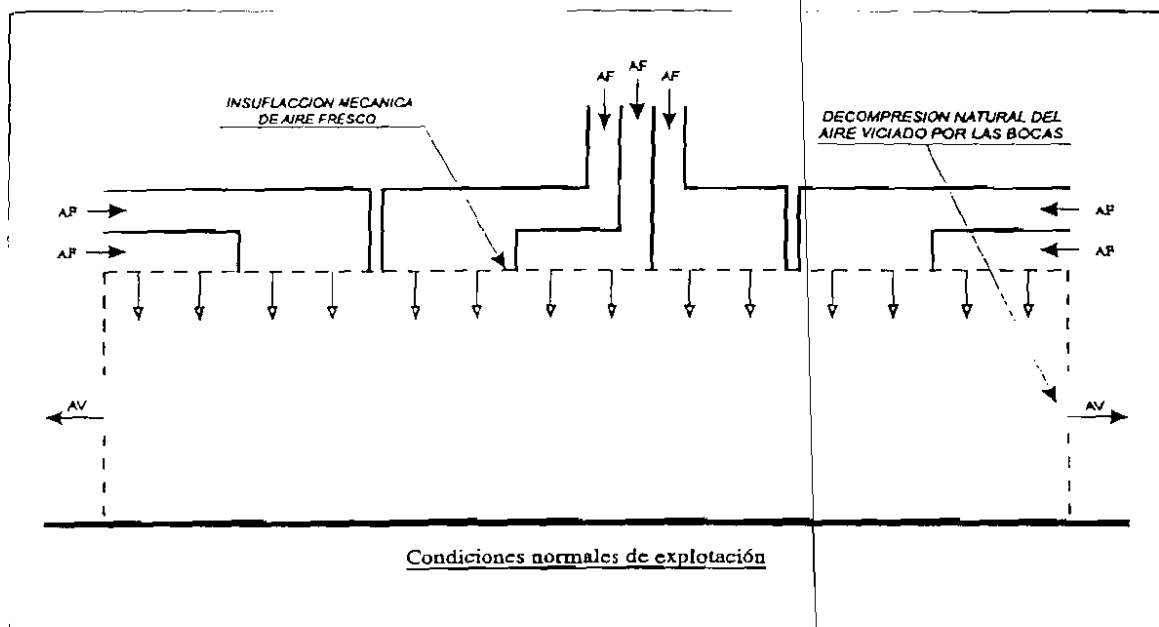
El túnel se divide en cantones de ventilación.

El principio de funcionamiento es el siguiente:

CONDICIONES NORMALES DE EXPLOTACIÓN

. Se insufla aire fresco en todos los cantones

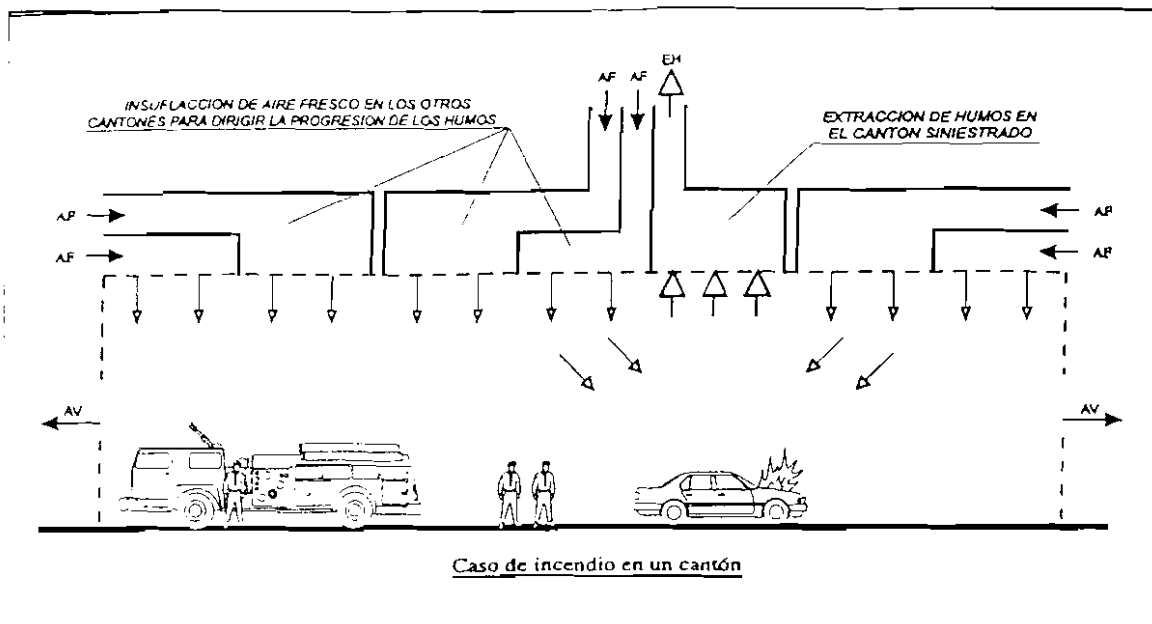
. Descompresión natural por las bocas del aire usado



EN CASO DE INCENDIO EN UN CANTÓN

Extracción de humos en el cantón siniestrado mediante la puesta en rotación en sentido inverso del ventilador correspondiente. Las trampillas de deshumado, con apertura teledirigida, permiten efectuar una extracción localizada, reforzada en la zona del incendio, limitando así la propagación de los humos.

Insuflación de aire fresco a régimen apropiado en los otros cantones para controlar la progresión de los humos.



Este sistema implica la puesta en servicio de al menos tres estaciones de ventilación según la longitud del túnel (de las cuales una está asociada a un pozo de ventilación) y de un falso techo sobre toda la longitud del túnel.

Tiene como principales ventajas:

1. Limitar el tiempo de reacción de la ventilación inyectando de manera repartida sobre toda la longitud del túnel el caudal de aire fresco necesario.
2. Poder controlar fácilmente el progreso y la evacuación de los humos en caso de incendio originado en el túnel.

3.8.2- SISTEMA LONGITUDINAL CON POZOS INTERMEDIOS (V2)

El túnel está equipado de aceleradores reversibles; los pozos estarán situados de forma que se pueda dividir el túnel en tramos por ejemplo de 1,5 a 2,5 km.

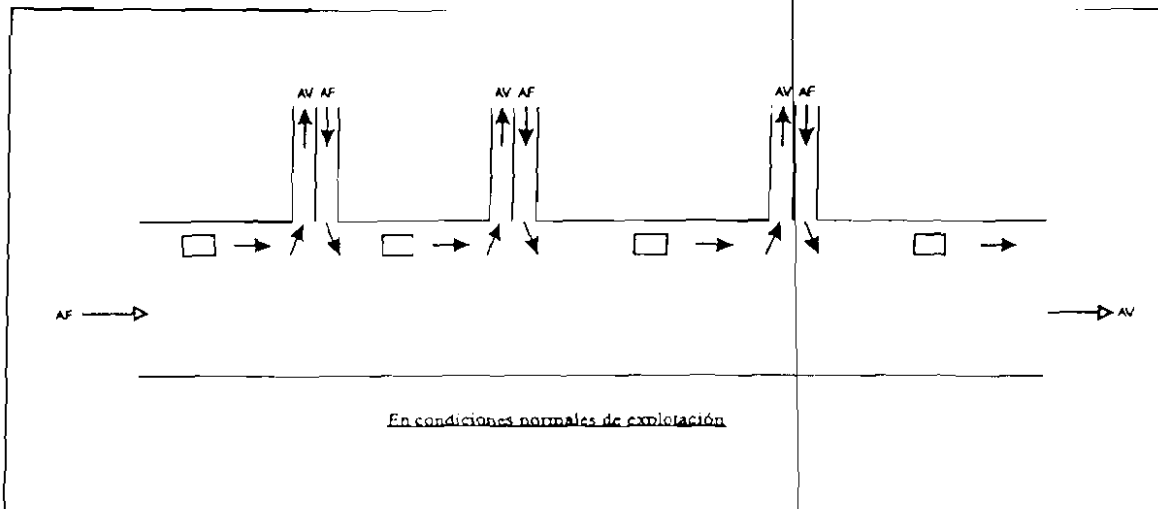
El principio de funcionamiento es el siguiente:

EN CONDICIONES NORMALES DE EXPLOTACIÓN

El sentido general del flujo de aire en el túnel depende de la corriente de aire natural que exista. Se ve completado por el efecto de inyección de aire fresco a pie de pozo y por los aceleradores dispuestos a lo largo del túnel.



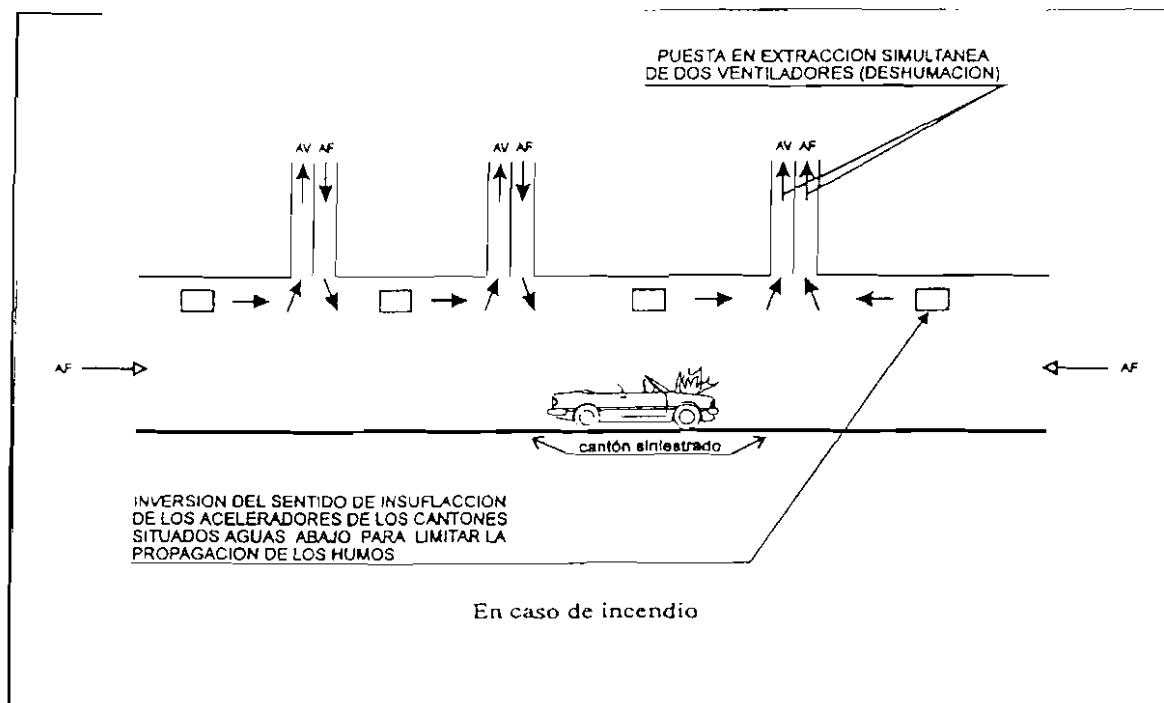
En cada pozo, el aire que circula por el túnel es renovado en gran parte gracias a una extracción mecánica de aire usado y una inyección equivalente de aire fresco.



EN CASO DE INCENDIO

Los pozos permiten asegurar el cantonamiento del incendio. La velocidad de la corriente de aire en el cantón con humos es controlada con la ayuda de los aceleradores y llegado el caso por los pozos situados aguas arriba o aguas abajo.

Los otros cantones que no tienen humos, permiten la llegada de socorro.



3.8.3- SISTEMA LONGITUDINAL CON UTILIZACIÓN DE UNA GALERÍA PARALELA (V3)

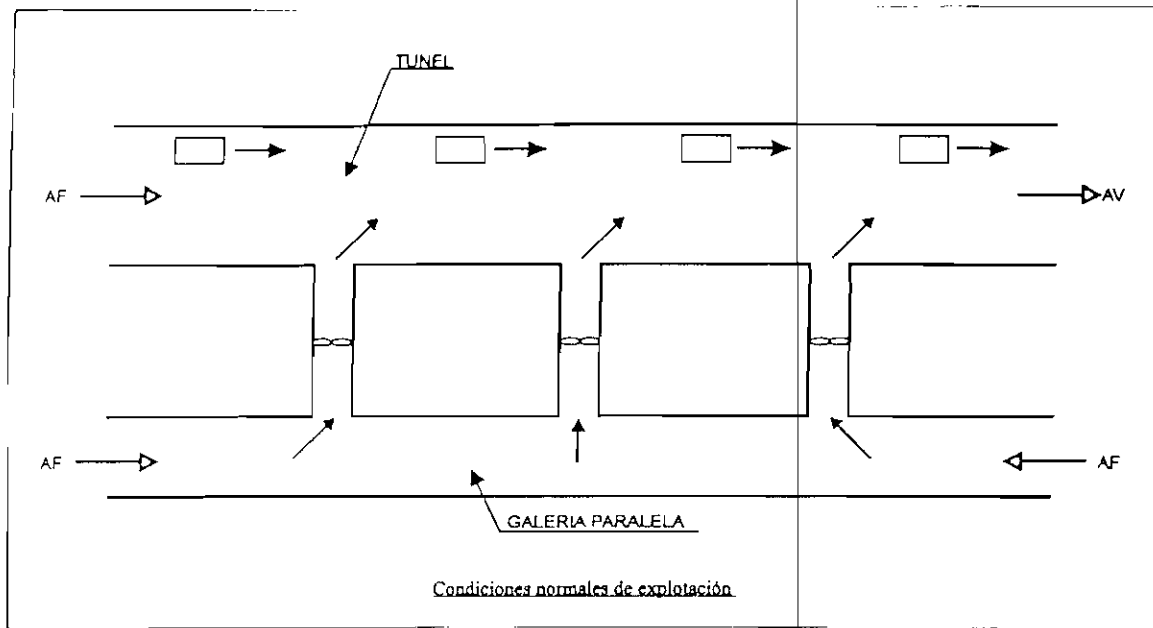
El túnel está equipado de aceleradores reversibles.

En este sistema, la galería es utilizada para inyectar o extraer aire al interior del túnel. Como en el sistema precedente, el número de conexiones entre el túnel y la galería paralela será tal que permita dividirlo en tramos similares al caso anterior.

El principio de funcionamiento de la ventilación es el siguiente:

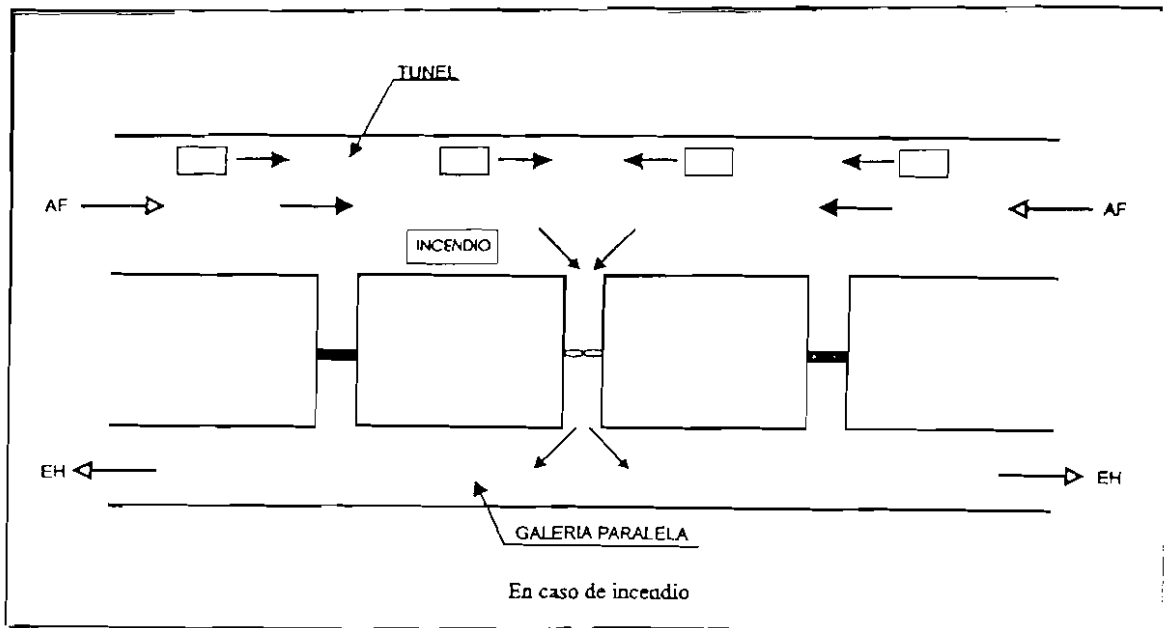
EN CONDICIONES NORMALES DE EXPLOTACIÓN:

Los aceleradores garantizan un barrido longitudinal del aire en el interior del túnel. El aire extraído en la galería paralela es insuflado en el túnel por medio de las galerías de enlace.



EN CASO DE INCENDIO

El flujo longitudinal de los humos es controlado en el cantón siniestrado gracias a los aceleradores. Los humos son extraídos del túnel por la galería intermedia situada inmediatamente aguas abajo. La acción combinada de los aceleradores, la extracción mecánica en la galería intermedia, y el cierre de las otras galerías de enlace, permiten asegurar la ventilación de los otros cantones como se indica en el esquema siguiente:



3.8.4- SISTEMA MIXTO LONGITUDINAL SEMITRANSVERSAL (V4)

A veces y según la longitud del túnel, no es posible enfocar su ventilación únicamente por sistema longitudinal por las dos razones esenciales siguientes:

1. Como ya se ha dicho anteriormente la velocidad máxima de la corriente de aire sobrepasaría el valor de 8 m/s. Considerado como valor límite admisible para los túneles de circulación bidireccional.
2. En caso de incendio, la seguridad de los usuarios no puede estar garantizada en razón de la imposibilidad de extraer los humos en toda la longitud del túnel.

El principio de ventilación es el siguiente:

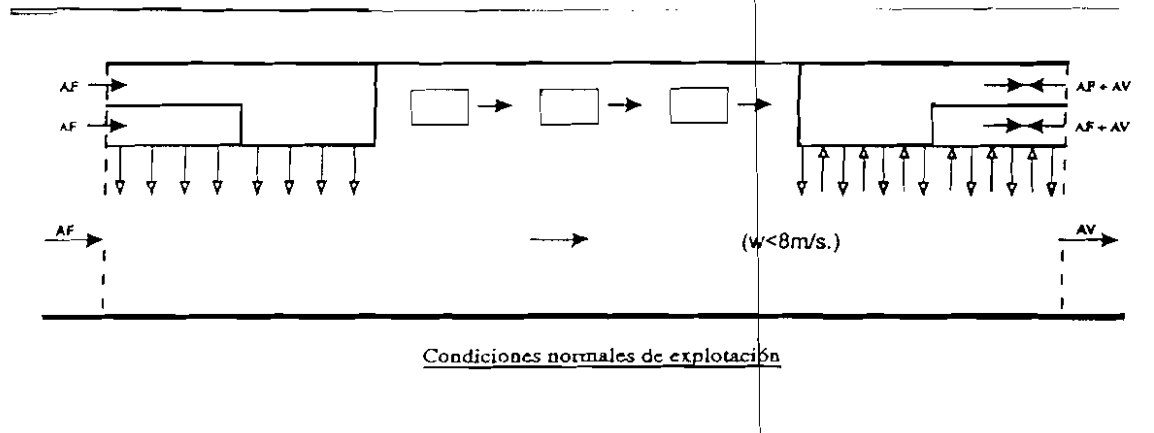
EN CONDICIONES NORMALES DE EXPLOTACIÓN

.Insuflación uniforme de aire fresco en el tramo aguas arriba (con relación al sentido de la corriente de aire en el túnel).



. Ventilación longitudinal en el tramo central.

. Insuflación uniforme de aire fresco en el tramo aguas abajo con recuperación uniforme del aire viciado para limitar la velocidad máxima de la corriente de aire.

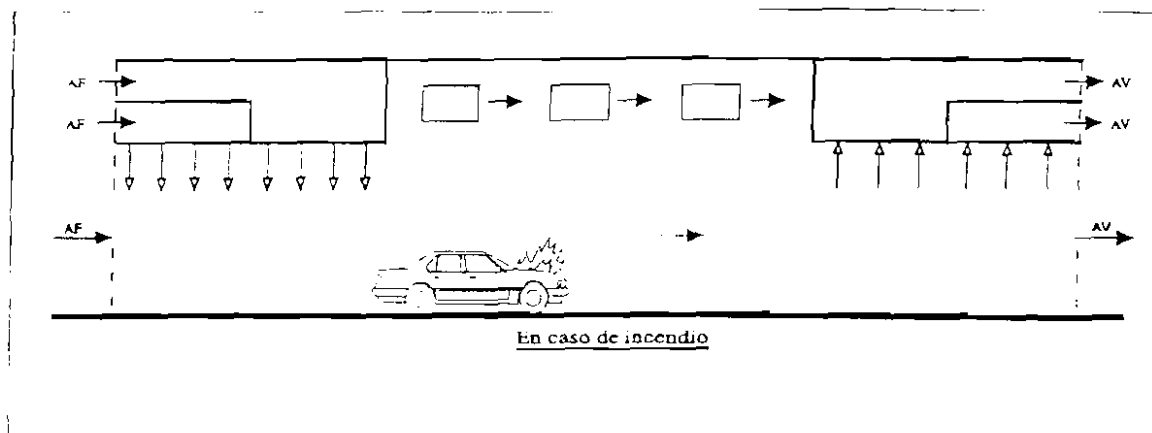


EN CASO DE INCENDIO

Se pueden dar dos casos:

. Si el incendio se produce en un cantón equipado con trampillas de ventilación en el techo, la extracción de los humos podrá realizarse, como en el caso semitransversal (VI) utilizando los ventiladores en la extracción.

. Si el incendio se declara en el cantón ventilado longitudinalmente, los humos no podrán ser empujados más que hacia uno u otro extremo del túnel para ser aspirados en los cantones provistos de una red de extracción en el techo. En este caso toda la parte del túnel situada aguas abajo del incendio estará con humo, lo que puede representar varios kilómetros.



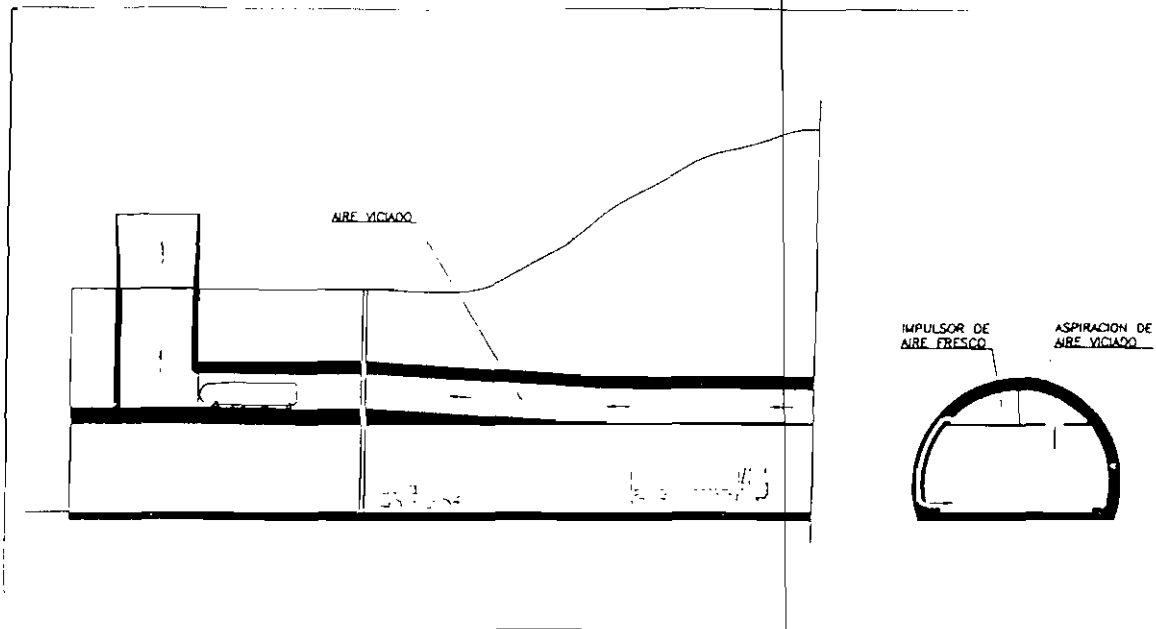
3.8.5- SISTEMA TRANSVERSAL (V5)

El aire circula en dos conductos longitudinales que son el de impulsión de aire fresco y aspiración de aire viciado. En cada sección transversal el aire fresco procedente del conducto, generalmente alojado en la bóveda, llega al cuerpo del túnel por una rejilla y una vez usado regresa al conducto de aire viciado por otra rejilla situada en la misma sección transversal que comunica con el colector longitudinal de aire viciado.

Teóricamente no hay ninguna circulación longitudinal en el cuerpo del túnel, pero en la práctica la circulación de vehículos y las condiciones meteorológicas producen corrientes de aire de 3-4 m/seg.

En caso de incendio el sistema de funcionamiento es similar, reforzando la capacidad de aspiración del aire viciado en la zona en la que se localiza el humo.

Este sistema se utiliza normalmente en túneles muy congestionados y muy largos. Una variante del mismo puede ser la ventilación **pseudo-transversal** que se produce cuando el volumen de aire viciado aspirado es menor que el de aire fresco provocando así una circulación longitudinal adicional.



A continuación se hace un análisis comparativo de los diferentes sistemas de ventilación considerados:



ESQUEMA DE VENTILACION	VENTAJAS	INCONVENIENTES
<p>SISTEMA SEMITRANSVERSAL REVERSIBLE (V1)</p>	<p><u>EXPLOTACION NORMAL</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Efecto inmediato de la insuflación de aire fresco sobre la contaminación en el túnel por la <i>insuflación uniformemente repartida</i>. -No hay sobrecontaminación momentánea ya que no es necesario invertir el sentido de la corriente de aire en el túnel. -Buena agilidad de funcionamiento por el acantonamiento. -Sistema evolutivo (posibilidad de aumentar el caudal). -Material electromecánico reagrupado en los locales técnicos. -Especificidad de los ventiladores de <i>aire fresco</i> y de deshumación que permiten, gracias a registros, una ayuda mutua. <p><u>INCENDIO</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Buen control de la propagación de los humos 	<ul style="list-style-type: none"> -Necesidad de construir un falso techo a lo largo de todo el túnel. -Necesidad de prever algún pozo de ventilación unido a una estación subterránea.

ESQUEMA DE VENTILACION	VENTAJAS	INCONVENIENTES
<p>SISTEMA LONGITUDINAL CON POZOS INTERMEDIOS (V2)</p>	<p><u>EXPLOTACION NORMAL</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Sistema que puede evolucionar en el tiempo. Es incluso posible instalar posteriormente el sistema semitransversal. -Los pozos combinados (extracción-insuflación) permiten limitar el tiempo de reacción de la ventilación y la <i>velocidad de la corriente de aire longitudinal</i> en el túnel. -Sin falso techo. <p><u>INCENDIO</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Posibilidad de controlar la marcha de los humos. 	<ul style="list-style-type: none"> -Necesidad de prever una inversión de la corriente de aire en función del efecto resultante del pistoneamiento de los vehículos y de las contrapresiones atmosféricas. -Inercia de reacción de la ventilación. -Potencia eléctrica consumida, elevada. -Pozos intermedios unidos a estaciones de ventilación subterráneas. -Mantenimiento constringente para el material en el túnel. -Medidas adicionales necesarias para hacer evolutivo el sistema (modillones). -Criterio de incendio penalizador por el dimensionamiento de los equipamientos de ventilación. -Los humos no pueden ser extraídos más que al pie de los pozos.



ESQUEMA DE VENTILACION	VENTAJAS	INCONVENIENTES
<p>SISTEMA LONGITUDINAL CON UTILIZACION DE UNA GALERIA PARALELA (V3)</p>	<ul style="list-style-type: none"> -La insuflación de aire en puntos intermedios del túnel limita el tiempo de reacción de la ventilación (igual que el sistema V2). -Sin falso techo. 	<ul style="list-style-type: none"> -Capacidad del sistema limitada por la velocidad máxima admisible de la corriente de aire en el túnel. -Necesidad de prever una inversión de la corriente de aire en función del efecto resultante del pistoneo de los vehículos y de las contrapresiones atmosféricas. -Inercia de reacción de la ventilación. -Galerías de comunicación entre el túnel y la galería paralela. -Las galerías no pueden ser utilizadas más que de manera exclusiva: o aire fresco o deshumación. -Sistema no evolutivo. -Potencia eléctrica consumida excesiva. -Mantenimiento constringente para el material del túnel. -Dificultad para alimentar de aire fresco los refugios para usuarios.

ESQUEMA DE VENTILACION	VENTAJAS	INCONVENIENTES
<p>SISTEMA MIXTO LONGITUDINAL - SEMITRANSVERSAL (V4)</p>	<ul style="list-style-type: none"> -No es necesaria la construcción de pozos intermedios. -No es preciso habilitar una estación intermedia de ventilación. -Eliminación del falso techo en la parte central. -Con el tiempo puede transformarse en semitransversal, reduciendo así la inversión inicial. 	<ul style="list-style-type: none"> -Edificios en los extremos más importantes. -Mayor tiempo de reacción de la ventilación. -Dificultades para el funcionamiento automático. -Mayor potencia instalada. -Menor duración de los ventiladores. -Mayor polución en caso de inversión del sentido de la corriente de aire, con lo que no se controla adecuadamente el movimiento de los humos en la parte central, disminuyendo la seguridad de los usuarios. -Mayor coste de explotación.

ESQUEMA DE VENTILACION	VENTAJAS	INCONVENIENTES
<p>SISTEMA TRANSVERSAL (V5)</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Para túneles muy largos o muy congestionados es el sistema que mejor garantiza la obtención de un ambiente de aire fresco y el que mejor soluciona la extracción de humos. 	<ul style="list-style-type: none"> -Elevado coste.



También se adjunta un cuadro comparativo de los diferentes aspectos que como mínimo deben considerarse para la elección de un sistema de ventilación y así adoptar la solución final. El ejemplo corresponde al túnel de Somport.

		V1	V2	V3	V4	V5
CONCEPCION	Ingeniería Civil	○	○	○	○	○
	Evolución del sistema	○	○	○	○	○
EXPLOTACION	Distribución de aire fresco	○	○	○	○	○
	Seguridad en caso de incendio	○	○	○	○	○
COSTE	Construcción	○	○	○	○	○
	Explotación	○	○	○	○	○

CRITERIOS:

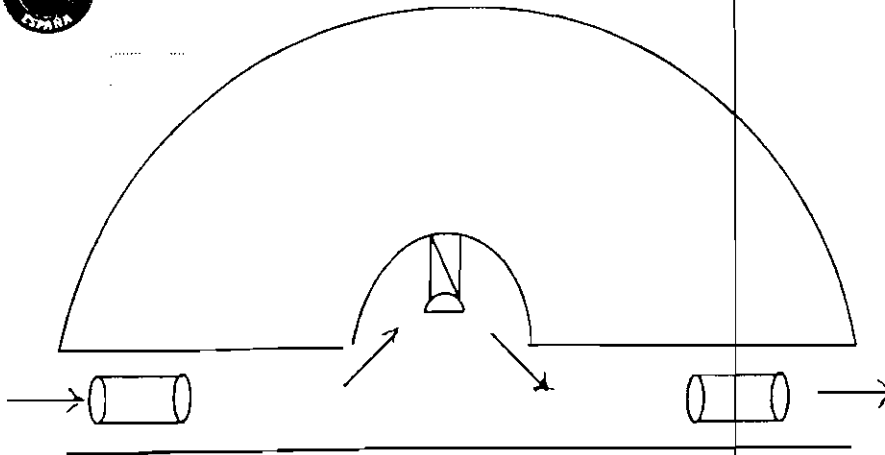
- Muy Favorable
- Favorable
- Medianamente Favorable
- Desfavorable

V1 Semitransversal
 V2 Longitudinal con pozo intermedio
 V3 Longitudinal con galería paralela
 V4 Mixto longitudinal-semitransversal
 V5 Transversal

Análisis multicriterio para la elección de un sistema de ventilación

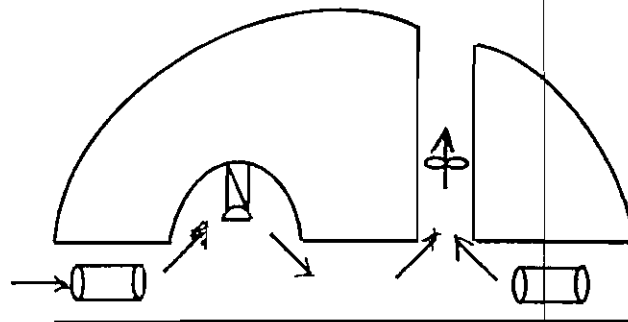
Por último mencionar el sistema de ventilación basado en **precipitados electrostáticos** que se instalan cuando el caudal de aire necesario para diluir los humos es mayor que el necesario para diluir el CO. Esto sucede aproximadamente cuando la proporción de vehículos pesados supera el 10 % del tráfico total.

Son dispositivos que hacen precipitar parte de las partículas de humo, disminuyendo, por tanto, su concentración en el aire y mejorando la visibilidad.

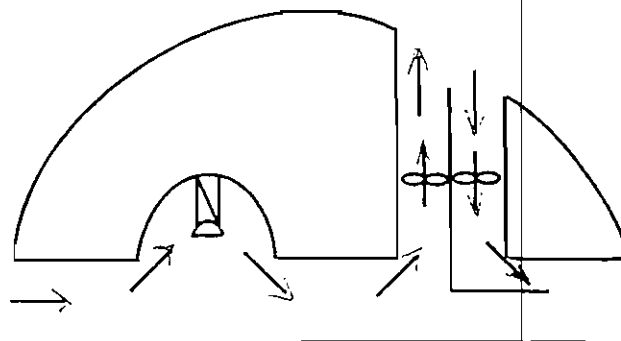


Se consigue mantener el nivel de concentración de humos siempre por debajo del nivel máximo admisible (teniendo, por tanto, buena visibilidad), empleando el caudal de aire necesario para diluir el CO.

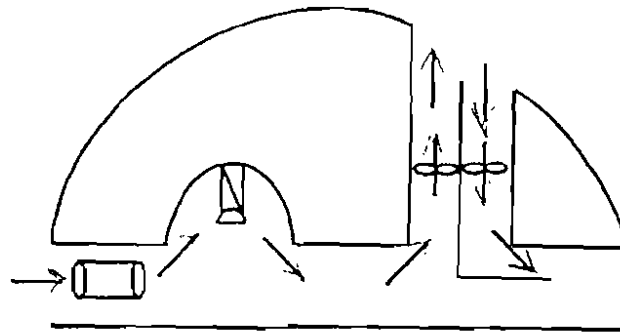
Combinaciones de chimeneas y precipitadores electrostáticos:



Chimenea de aspiración y precipitador electrostático con ventiladores de chorro



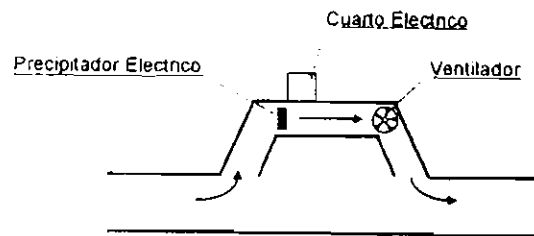
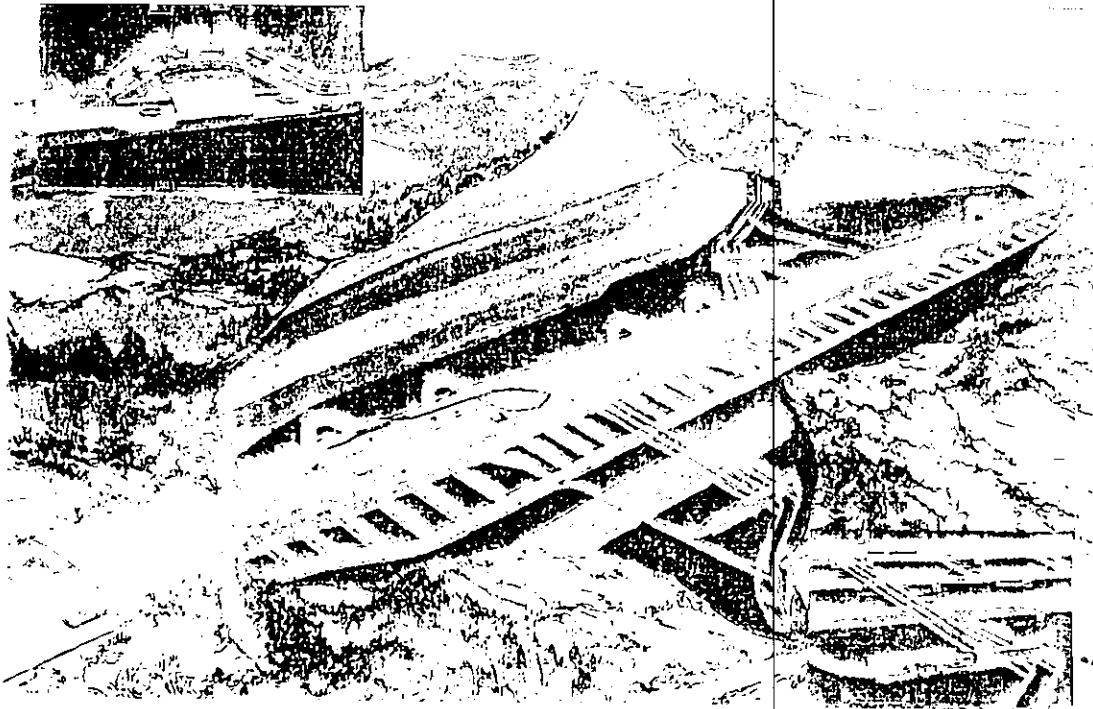
Chimenea de aspiración-impulsión y precipitador electrostático



*Chimenea de aspiración-impulsión y precipitador electrostático
con ventiladores de chorro de apoyo*

El túnel de Kan-etsu (Japón) es un ejemplo de utilización de estos sistemas, habiéndose obtenido buenos resultados de explotación tanto en condiciones normales como en caso de incendio gracias a un software especialmente preparado para controlar los movimientos del aire en caso de incendio.

Con una longitud de 10.926 m está equipado con un sistema de ventilación longitudinal con 2 pozos verticales y 5 estaciones de precipitación electrostática. El túnel principal está conectado con otro paralelo para evacuación mediante galerías cada 350 m. Ha sido usado como túnel bidireccional durante muchos años, período en el que se instalaron 48 ventiladores adicionales para complementar los existentes, para pasar después a una circulación unidireccional una vez que fue terminado el tercer pozo de ventilación.



Esquema del Túnel de Kan - etsu (Japón).

El software que controla la instalación permite, tan pronto como es detectado un fuego, poner el sistema en modo especial de funcionamiento. Este sistema especial actúa sobre los 48 ventiladores adicionales instalados y consiste en una combinación de actuaciones sobre el tráfico en una dirección y sobre el movimiento del aire en la contraria.

La secuencia temporal de un acontecimiento es la siguiente:

- | | | |
|----|-------|---|
| t= | -60 s | ocurre un accidente. |
| t= | 0 s | 60 s más tarde el fuego ha sido detectado y todos los ventiladores se conectan. |
| t= | 90 s | 90 s después de ser detectado el fuego el sistema de emergencia se conecta. |

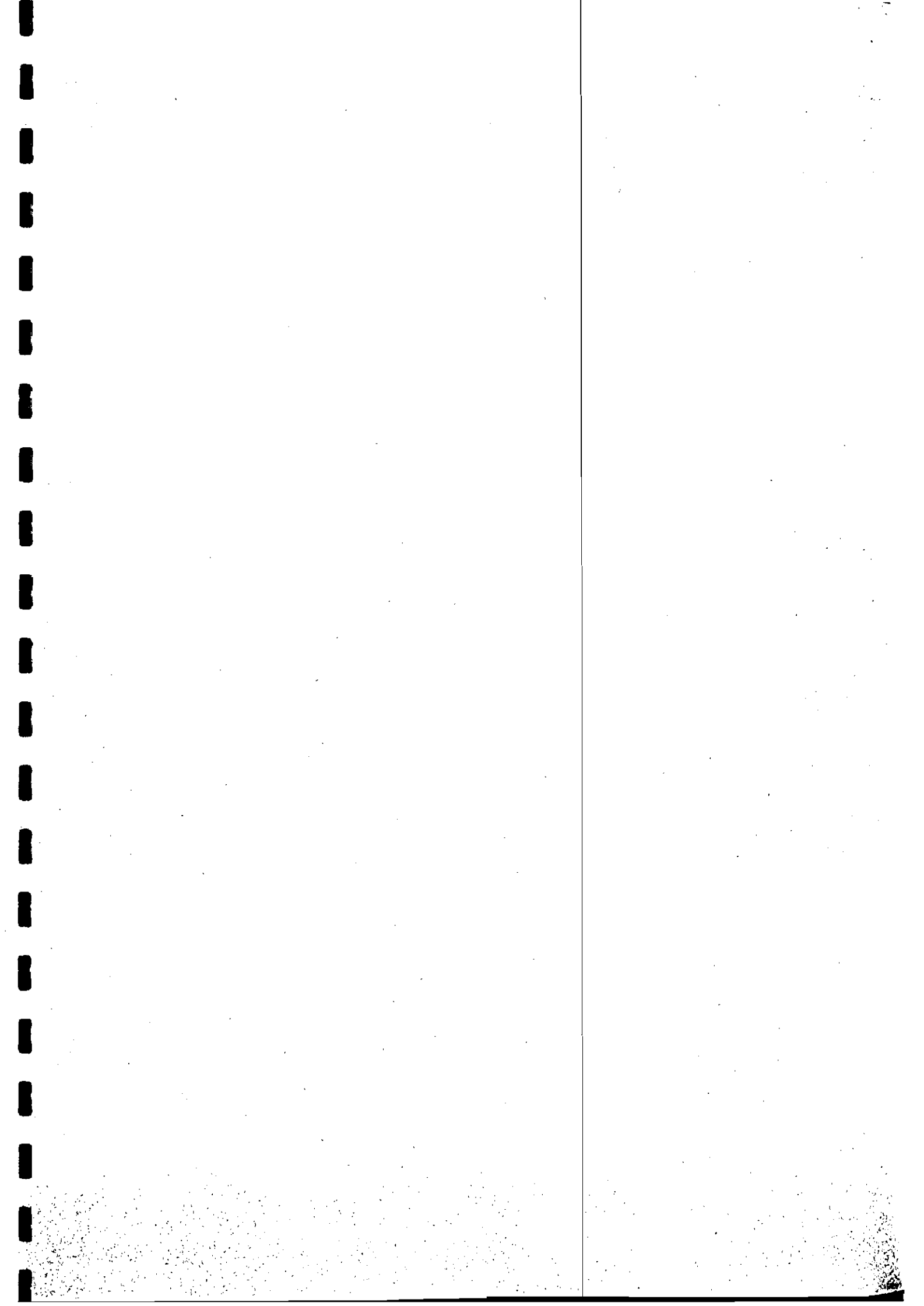


**EQUIPAMIENTO NECESARIO
EN LOS TÚNELES PARA
MEJORAR LA SEGURIDAD EN
LA EXPLOTACIÓN**

VICENTE VILANOVA MARTINEZ-FALERO

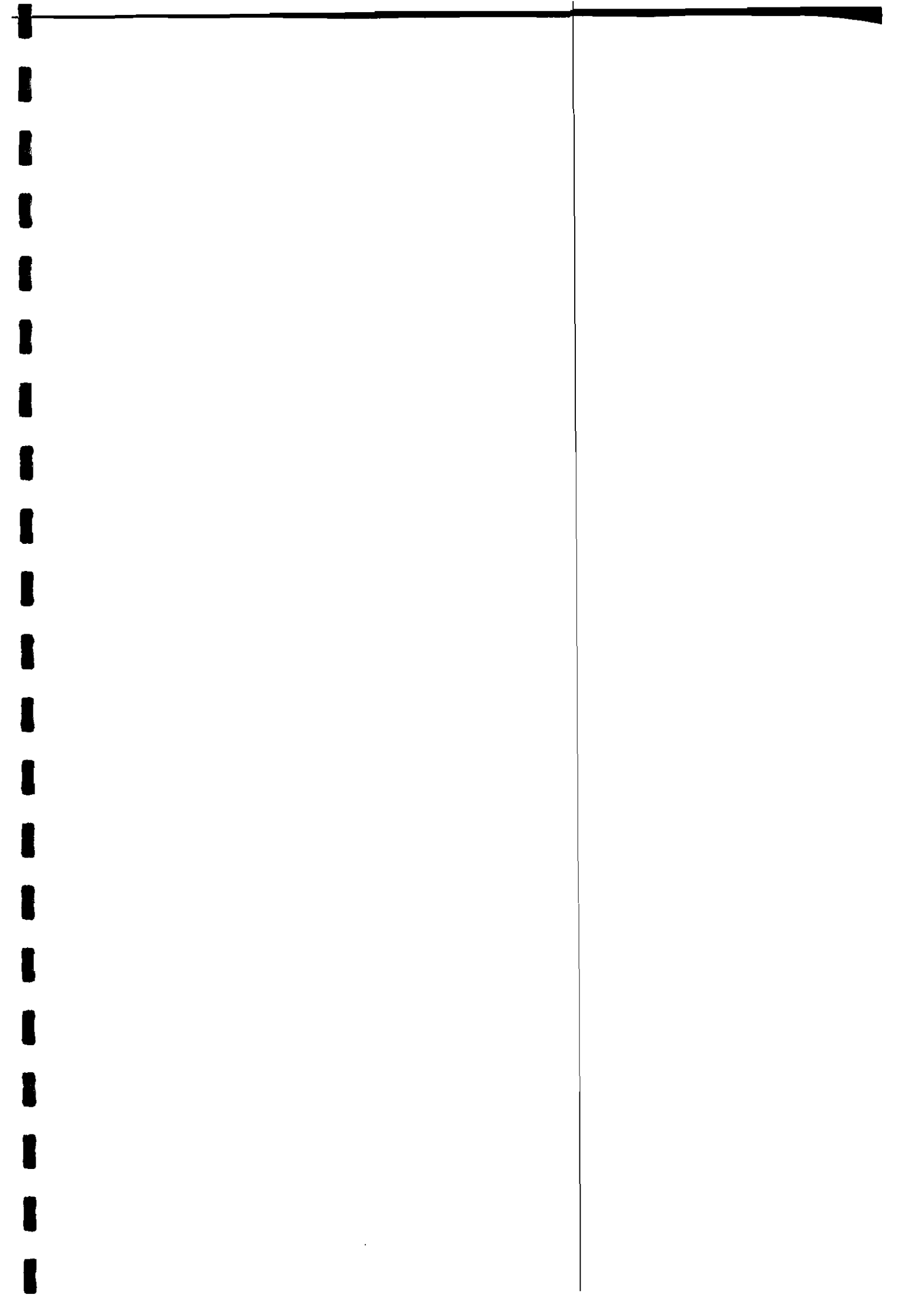
ING. CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

EQUIPAMIENTO NECESARIO EN LOS TÚNELES PARA
MEJORAR LA SEGURIDAD EN LA EXPLOTACIÓN





4.1. INSTALACIONES BASICAS.....	2
4.2. INSTALACIONES DE SEGURIDAD PARA INCIDENCIAS.....	3
4.2.1. VENTILACION	4
4.2.2. ILUMINACION	7
4.3. COMUNICACIONES.....	8
4.4. SEÑALIZACION FIJA Y VARIABLE, DETECTORES DE GÁLIBO EN ENTRADAS Y SEMAFOROS.....	9
4.5. DETECTORES DE VELOCIDAD	9
4.6. CONTROL DE MERCANCIAS PELIGROSAS	10
4.7. SUMINISTRO AUXILIAR DE ENERGIA (DOBLE SUMINISTRO Y/O GRUPOS ELECTRÓGENOS).....	10
4.8. ALUMBRADO DE EMERGENCIA.....	11
4.9. DETECCION DE INCENDIOS	12
4.10. POSTES SOS	12
4.11. CAMARAS DE TV EN CIRCUITO CERRADO (CCTV) CON DETECCION AUTOMATICA DE INCIDENCIAS.....	12
4.12. RED DE SUMINISTRO DE AGUA Y EXTINTORES.....	13
4.13. DRENAJE DE VERTIDOS CONTAMINANTES Y/O CON RIESGO DE INCENDIO	13
4.14. REFUGIOS PRESURIZADOS Y GALERIAS DE EVACUACION PRESURIZADAS.....	13
4.15. BARRERAS EN ENTRADAS TUNEL.....	14
4.16. MEGAFONIA	14
4.17. DETECTORES DE PRESENCIA HUMANA.....	15
4.18. CUESTIONES GENERALES SOBRE LAS INSTALACIONES Y APLICACION A UN CASO DE TUNEL LARGO COMO EL DE VIELHA (CN-230. 5.240 MTS. DE LONGITUD).....	15





Actualmente existe una discusión sobre las instalaciones que deben disponerse en los túneles de carretera en función de su longitud y tráfico. No existe una clasificación sobre la longitud a partir de la cual es necesaria la instalación de ventilación ni sobre la instalación de otros elementos de seguridad. No obstante, por los ensayos realizados y por la experiencia adquirida en los incendios ocurridos se deduce que todo túnel con longitud superior a los 800 metros debería contar con instalaciones de seguridad y ventilación preparadas para prevenir y actuar en caso de incidencias graves. Asimismo, los túneles con tráfico superior a 2.500 veh/día de IMD y intensidades horarias de 400 veh/hora deberían dotarse de elementos de seguridad. Recientemente se ha publicado la instrucción IOS-98 (Instrucción de obras subterráneas BOE de 1-12-98) en la que se especifican las instalaciones que deben disponer los túneles, clasificándolos en 3 niveles y fijando unas longitudes mínimas para la necesidad de ventilación, iluminación y salidas de emergencia y refugios. No obstante, dicha normativa se queda corta en cuanto a las instalaciones no fijando algunas necesarias

Antes de entrar en las instalaciones propiamente dichas diremos que el caso peligroso es del un incendio en el interior del túnel. En este caso deben estudiarse las medidas protectoras en relación con el número de personas afectadas y la intensidad del incendio.

En caso de incendio la evolución de los humos es la siguiente: En un túnel sin movimiento de aire, el humo avanza en ambas direcciones con una velocidad de 1-2 m/seg, situándose debajo del techo con un espesor de 1-3 metros. Debajo de la capa de humos existe una corriente de aire sobre la calzada en dirección al foco del incendio. Si la velocidad dentro del túnel es de 2-3 m/seg, el humo se desplaza solo hacia un lado, procediendo el aire necesario para alimentar el foco del incendio de la propia corriente longitudinal. En ambos casos existe una capa de 2-3 m de espesor sobre la calzada de aire respirable aunque no exento de humos.

Resulta pues indispensable para la seguridad de las personas preguntarse hasta donde se desarrolla establemente esta corriente estratificada de humos. Existe una experiencia realizada en Japón con el incendio de dos turismos y que explica la evolución de los humos.

Al producirse un incendio, equivalente a dos turismos, se aprecia que hasta transcurridos siete (7) minutos desde el comienzo de un incendio y a una distancia de 700 metros de foco no se produce una entrada de humos apreciable en la capa inferior que se mueve hacia el lugar de combustión. Este



es el caso tanto con el aire en calma como en el caso de ventilación longitudinal con 2-3 m/seg. En los cinco (5) minutos siguientes la columna de humos, ya más fría, se va mezclando con la capa inferior de aire y conduce, un cuarto de hora después de declararse el incendio, a cubrir plenamente con humo toda la sección del túnel en una longitud de un (1) kilómetro a cada lado del foco.

En caso de una ventilación longitudinal se observa asimismo una difusión hacia la capa baja y, si bien el humo se desplaza solo en el sentido de la corriente de aire, se mantiene durante toda la duración del incendio, en una longitud de 400 mts desde el foco y por encima de la calzada, una capa de aire respirable. El espesor de dicha capa depende de la disposición en el lugar del incendio etc.

Hecha ya esta pequeña introducción entraremos en detalle en todas las instalaciones posibles para la mejorar la seguridad en la explotación de los túneles.

Las instalaciones en un túnel pueden ser de dos tipos:

4.1. INSTALACIONES BASICAS

Las instalaciones básicas son aquellas destinadas a dar seguridad al tráfico que circula mejorando la visibilidad, avisando las posibles perturbaciones, limitando la entrada a determinados vehículos peligrosos o bien evitando situaciones de peligro. Dentro de estas instalaciones tendríamos las siguientes:

VENTILACION (con sus correspondientes detecciones de CO, opacidad y anemómetros)

ILUMINACION

COMUNICACIONES (internas y externas)

SEÑALIZACION FIJA Y VARIABLE

DETECTORES DE GÁLIBO EN ENTRADAS

DETECTORES DE TRÁFICO Y VELOCIDAD



SEMAFOROS

CONTROL DE MERCANCIAS PELIGROSAS

SUMINISTRO AUXILIAR DE ENERGIA (doble suministro y/o grupos electrógenos)

Aunque no forman parte de las instalaciones propiamente dichas ya que son inherentes a la infraestructura cabría citar las siguientes:

APARTADEROS O SOBREANCHOS PARA APARCAMIENTO DE EMERGENCIA

NICHOS DE SEGURIDAD

4.2. INSTALACIONES DE SEGURIDAD PARA INCIDENCIAS

Estas instalaciones son las destinadas son aquellas que avisan, actúan y sirven de escape y seguridad a las personas en caso de incidencias.

ALUMBRADO DE EMERGENCIA

DETECCION DE INCENDIOS

POSTES DE SOS

CAMARAS DE TV EN CIRCUITO CERRADO (CCTV) CON DETECCION AUTOMATICA DE INCIDENCIAS

RED DE SUMINISTRO DE AGUA

EXTINTORES

DRENAJE DE VERTIDOS CONTAMINANTES Y/O CON RIESGO DE INCENDIO

REFUGIOS PRESURIZADOS



GALERIAS DE EVACUACION PRESURIZADAS

BARRERAS EN ENTRADAS TUNEL

MEGAFONIA

DETECTORES DE PRESENCIA HUMANA

Dentro de estas instalaciones podemos indicar las siguientes:

Ya fuera de las instalaciones pero formando parte del equipamiento del túnel cabe considerar la posibilidad de disponer de personal y medios específicos para actuaciones en caso de emergencia (bomberos, sanitarios, vehículos contra incendios, ambulancias etc.)

Evidentemente todas estas instalaciones y equipamientos deben ser gestionados y mantenidas desde un centro de operaciones que debe estar situado en una de las bocas del túnel (como mínimo) y que dispondrá del correspondiente sistema informático de gestión, alarmas, vigilancia etc.

Seguidamente, y una enumeradas las posibles instalaciones, pasaremos a describirlas enumerando la normativa existente y su funcionamiento.

4.2.1. VENTILACION

La ventilación debe ser calculada teniendo en cuenta los gases generados durante la explotación normal del túnel y para la evacuación de los humos generados en caso de incendio. Son dos situaciones diferentes que exigen actuaciones diferenciadas.

En explotación, la ventilación debe procurar que la concentración de CO no sea superior a 150 ppm. En caso de incendio, debe preverse el volumen de humos generados. Este volumen ha sido fijado por el CETU (Centro de Estudios de Túneles) de la siguiente forma:



TRAFICO	FUEGO TIPO	POTENCIA	EMISION HUMO
Sin mercancías peligrosas	Autobús/camión ligero	30MW	80 m3/seg
Con mercancías peligrosas	Camión cisterna	200 MW	300 m3/seg

Es prácticamente imposible poder extraer el volumen de humos generados por el incendio de un camión cisterna, de ahí la importancia, como luego veremos, de controlar y separar si es posible el tráfico de mercancías peligrosas del resto del tráfico. En todo caso la extracción debe realizarse en una longitud máxima de 600 metros desde el foco del incendio.

Otros factores que intervienen en la ventilación es la diferencia de presión en las bocas como consecuencia de la diferente altimetría de ambas y el efecto pistón que se produce por el paso de los vehículos, especialmente en los túneles bi.direccionales.

En cuanto a ventilación, existen cuatro tipos posibles:

Ventilación natural: El aire circula por diferencia de presión en bocas, no existiendo ningún elemento que la ayude. Solo se da en túneles cortos con poco tráfico y preferentemente unidireccionales.

Ventilación longitudinal: El aire circula gracias a la existencia de turboventiladores reversibles ubicados a lo largo del túnel. El aire debe entrar por una boca y salir por la otra. Se emplea en túneles de longitud media y bajo tráfico y en algunos casos es ayudado por galerías de ventilación que suministran aire adicional en algún punto interior del túnel. No permite dividir el túnel en cantones independientes en caso de incendio.

Ventilación semitransversal: El aire es insuflado a lo largo del túnel de manera uniforme, debiendo salir por las bocas. Este sistema ha sido mejorado al permitir dividir el túnel en cantones (cada cantón tiene suministro de aire independiente) proyectando la ventilación de forma reversible y dotando al túnel de una trampillas que se abren en caso de incendio. De esta forma en caso de incendio todos los cantones, excepto aquel en el que se ha producido el incendio, insuflan aire y el afectado aspira el aire viciado por los humos. Se



emplea en túneles largos cuando no es posible la instalación de pozos de ventilación intermedios.

Ventilación transversal: En este caso se insufla aire continuamente a lo largo de todo el túnel y se aspira de la misma forma el aire viciado. Suele insuflarse por la parte inferior de uno de los hastiales y se aspira por la parte del techo ubicada en el lado opuesto. Es el mejor sistema de ventilación pero obliga a disponer de pozos de ventilación intermedios en caso de túneles largos ($L > 3.000$ mts.).

En todos los casos descritos deben tenerse en cuenta otra serie de factores adicionales como la velocidad del aire (debe ser superior a 1,5 m/seg e inferior a 3 m/seg para conservar la estratificación de los humos)

La instalación de ventilación es gestionada automáticamente por un sistema informático, y por ello va asociada a las instalaciones de detección de CO, de opacidad y a estaciones anemométricas ubicadas a lo largo del túnel que indican el estado del aire en el interior del túnel. Estas instalaciones sirven para que el sistema tome las medidas oportunas en caso de incendio (trampillas de aspiración, sentido de ventiladores, régimen y número de los mismos etc.).

La instalación de detección de CO puede ser de tres tipos:

- Absorción de la radiación infrarroja
- Combustión catalítica
- Oxidación electroquímica

Las instalaciones usuales se basan en el tercer tipo y básicamente funcionan aspirando aire mediante una bomba de vacío rotativa y un sensor de oxidación electroquímica. Los detectores se ubican cada 150 metros aproximadamente.

La instalación de detección de opacidad puede ser de los siguientes tipos:

- Sistemas de medición directa
- Sistemas de medición por difusión



-Sistemas de medición por difusión compensados por puente de Wheatstone óptico.

En todos los casos estos aparatos necesitan un mantenimiento elevado y ajustes periódicos. Suelen ubicarse cada 300-500 metros

Las estaciones anemométricas suelen ubicarse en el interior del túnel y en el exterior. Constan de anémómetros de cazoleta y catavientos o veletas.

El sistema de gestión tiende en la actualidad a ser del tipo predictivo, de forma que el programa se autoanaliza y es capaz de prever la evolución del fenómeno en función de los datos que le llegan.

Los ventiladores deberán soportar temperaturas superiores a los 400° durante 2-3 horas.

4.2.2. ILUMINACION

La finalidad de esta instalación es asegurar la visibilidad de parada en todo el tramo del túnel, para una velocidad determinada, teniendo en cuenta el efecto de la luminancia exterior.

Por todo ello todo túnel de longitud superior a los 400 metros debe disponer de esta. Para el caso de túneles largos, se diferencian tres zonas bien diferenciadas:

ZONA UMBRAL: Es la zona más cercana a las bocas, su misión es evitar el deslumbramiento cuando se sale del túnel en horas diurnas y evitar el efecto ciego al entrar en el mismo. Es la zona con mayor intensidad lumínica.

ZONA DE TRANSICION: Viene a continuación de la zona umbral y es la que permite pasar desde la zona anterior de alto nivel lumínico hasta la zona central del túnel de menor nivel lumínico. Su nivel lumínico varía a lo largo de la zona.

ZONA CENTRAL: Es la zona, como su nombre indica, central del túnel y que permite asegurar la visibilidad de parada una vez el ojo normal se ha acomodado. Los niveles normales en esta zona según CIE y CEN están comprendidos entre 50 y 70 Lux para lo que se requiere un nivel de luminancia de 4- 4,5 cd/m². En esta zona debe



estudiarse la separación entre luminarias de forma que no se produzca el efecto FLICKER debido a la molestia que crea la repetición de un punto de luz repetitivo cuando se circula a una velocidad determinada. También es determinante en túneles largos la disposición de las luminarias ya que una disposición cenital centrada puede provocar una tendencia a irse hacia el centro del túnel, mientras que una disposición en hastiales marca la alineación del mismo a los conductores y mejora la seguridad.

La longitud de cada zona se efectúa en función de unas curvas de acomodación, teniendo en cuenta la dirección del tráfico (N-S, E-O etc.) y la luminancia exterior. Se pueden citar casos extremos como el de la boca sur del túnel de viella que en época invernal y a pleno sol necesitan una iluminación en zona umbral de 2.600 lux y luminancias de 150 cd/m².

El nivel lumínico de la zona umbral y de las zonas de transición oscila en función de la hora del día y de la nubosidad, empleándose controles a base de relojes astronómicos y luminacímetros.

El diseño de la iluminación debe realizarse de forma que las uniformidades sean lo más elevadas posibles (longitudinal > 0,75 ; transversal > 0,65 y TI < 15 %).

En cuanto a materiales, cabe decir que la luminaria debe ser estanca (IP > 65), debe estar construida y fijada con materiales no corroibles (aluminio y acero inoxidable) y la instalación eléctrica debe realizarse con cables afumex que no produzcan humos ni alógenos, resistentes al fuego. Las cajas de derivación deben ser totalmente estancas y su número el menor posible. La bandeja portacable no debe ser de PVC.

Dentro de este apartado está también la iluminación de emergencia, no obstante, esta instalación será tratada con posterioridad específicamente.

4.3. COMUNICACIONES

Todo túnel debe permitir la comunicación del personal especializado que trabaje en la explotación o en la atención a incidentes. Ello exige disponer la instalación necesaria que permita la comunicación en la banda VHF. Lo normal es disponer de un cable radiante (se inutiliza enseguida en caso de incendio por su mínima resistencia a las altas temperaturas) o bien disponer de varias estaciones repetidoras en el interior del túnel que permitan su funcionamiento en caso de inutilizarse alguna de ellas.



En túneles largos se está procediendo a la instalación de telefonía móvil por parte de las compañías operadoras del mercado. Normalmente la instalación se efectúa con estaciones repetidoras en su interior.

Menos común es la existencia de emisiones radiofónicas en el interior de los túneles, si bien es un tema a estudiar y conveniente para hacer llegar mensajes a los usuarios del túnel.

Las comunicaciones de los usuarios del túnel en caso de incidencia se produce a través de los postes SOS como luego veremos.

4.4. SEÑALIZACION FIJA Y VARIABLE, DETECTORES DE GÁLIBO EN ENTRADAS Y SEMAFOROS

Dentro de estas instalaciones figura la señalización fija reglamentaria en carreteras y la variable mediante paneles diodoluminiscentes que presentan mensajes escritos y/o señales de tráfico. Estos paneles son gestionados por el centro de control y deben figurar en ambas bocas de entrada, así como en el interior, siendo usual ubicarlos cada 500 metros.

La misión de estos paneles es avisar al tráfico de cualquier incidencia que se haya producido en el túnel, ya sea por accidente, obras etc.

En las entradas deben instalarse con la suficiente antelación detectores de gálibo para evitar incidentes ocasionados por vehículos con altura excesiva y semáforos que indiquen la prohibición de paso en caso de incidencias.

Los detectores de gálibo de última generación están constituidos por células fotoeléctricas asociadas a detectores electromagnéticos de tráfico. No obstante su ubicación y elementos deben ser estudiados en función de las condiciones climáticas, al igual que los semáforos.

4.5. DETECTORES DE VELOCIDAD

Normalmente son de tipo electromagnético, a base de espiras de cobre ubicadas en el firme, y con ellos se determina la cantidad de tráfico circulante en cada momento, así como el tipo de vehículo (longitud) y su velocidad. La señal es captada por un dispositivo de aforos y conducida al centro de operaciones en tiempo real, donde es gestionada por el sistema de forma que en determinados casos (velocidad excesiva, tráfico intenso, etc.) produzca



determinados mensajes en los paneles ("modere su velocidad", "atención tráfico intenso", etc.) e incluso intervenga en el sistema de ventilación.

4.6. CONTROL DE MERCANCIAS PELIGROSAS

Es este un apartado importante tal y como se ha visto anteriormente. Un incidente de un camión cargado con mercancías peligrosas puede ser gravísimo ya que es imposible de combatir en el interior del túnel. La rapidez del incendio, los gases producidos (en cantidad y calidad) y las elevadas temperaturas que se alcanzarán harán que ningún medio sea efectivo para combatirlo, produciéndose víctimas mortales. Por todo ello es necesario prever las instalaciones necesarias para que estos vehículos pasen controlados o bien, si se puede, que lo hagan por itinerarios alternativos.

La solución más básica consiste en el paso controlado de los camiones con mercancías peligrosas. Para ello, cuando un camión se acerca a la boca de un túnel es guiado por una serie de señales obligatorias para los vehículos con mercancías peligrosas hasta un punto donde debe estacionar. Allí debe pulsar un poste especial y esperar a que un vehículo guía venga y le acompañe a lo largo de todo el túnel. Este sistema minimiza el riesgo pero no lo elimina.

La solución ideal es disponer de un itinerario alternativo, o bien un túnel paralelo tal y como se prevé en el futuro túnel de Vielha. Cuando un vehículo de mercancías peligrosas llega al túnel se le hace ir hasta el túnel antiguo. En este punto el túnel antiguo está cerrado con semáforos y barreras. El conductor debe comunicar su llegada a través de un poste especialmente destinado a ello. Una cámara de TV informa al centro de operaciones la matrícula del camión y enfoca la placa del transporte. Con ello se determina el tipo de vehículo y mercancía. Si el túnel está ocupado por otro vehículo se le hace esperar, y si no, se le da paso libre mediante el semáforo y la barrera. Solamente debe existir un vehículo con mercancías peligrosas en el interior del túnel antiguo. Con ello se evita el paso de mercancías peligrosas por el interior del túnel. Es un sistema caro y que solo puede disponerse en lugares en los que se dispone de otra infraestructura paralela o itinerario alternativo.

4.7. SUMINISTRO AUXILIAR DE ENERGIA (DOBLE SUMINISTRO Y/O GRUPOS ELECTRÓGENOS)

Hay que tener en cuenta que la ubicación de los túneles largos suele ser en zonas de montaña difíciles con sistema de suministro precarios y sometidos a fuertes inclemencias meteorológicas (tormentas con aparato eléctrico etc.). Por todo ello es necesario disponer de fuentes seguras de suministro de



energía eléctrica, y ello se consigue con otra fuente de suministro adicional a la principal. Este puede ser otro suministro de energía o bien grupos electrógenos que entran en funcionamiento al faltar el suministro.

Determinadas instalaciones como el centro de gestión, las comunicaciones deben disponer de sistemas ininterrumpidos de alimentación (SAI) para evitar las interferencias en los cortes de suministro. La iluminación asimismo, dado el tiempo necesario para reencendido, debe disponer de un sistema de iluminación de emergencia o de sistemas a base de lámparas de incandescencia que palien en lo posible ese espacio de tiempo necesario para el reencendido.

Debe tenerse en cuenta que determinados elementos imprescindibles, tales como transformadores etc., deben estar doblados para evitar la existencia de espacios de tiempo sin suministro.

Con esto quedan descritas las instalaciones básicas, pasando a continuación a las instalaciones de seguridad para incidencias.

4.8. ALUMBRADO DE EMERGENCIA

El alumbrado de emergencia es necesario no solamente en casos de fallo en el suministro eléctrico sino que su utilidad principal es en caso de incendio. Al principio del artículo hemos visto que al producirse un incendio existe un tiempo (del orden de 10 minutos) y una distancia (del orden de 600 a 700 metros) en que los humos están estratificados y situados en la parte superior del túnel. Es básico en caso de incendio poder guiar a las personas hasta los puntos de evacuación. Esta evacuación debe producirse lo antes posible y por ello es necesario disponer de un alumbrado de emergencia que guíe e ilumine el paso. Ha de tenerse que en cuenta que los humos ubicados en la parte superior no dejan pasar la luz producida por la iluminación normal del túnel, siendo necesario disponer de una iluminación adicional situada a 1,00 metros del suelo. Esta iluminación debe tener suministro eléctrico normal y otro procedente de baterías que le aseguren una autonomía entre 2-4 horas. La iluminación deberá ser del orden de 7 lux y la separación entre luminarias no superior a 50 metros.

Esta iluminación de emergencia, que debe existir en el túnel así como en todas las vías de evacuación, puede ser complementada con señalización fotoluminiscente.



4.9. DETECCIÓN DE INCENDIOS

El sistema de detección de incendios se basa en la detección de un aumento de temperatura. Para ello se dispone usualmente un cable a todo lo largo del recorrido. Hay dos tipos de cable, el primero es aquél que a una determinada temperatura (entre 60-80°) envía una señal y el que mide la temperatura linealmente y en tiempo real, avisando en el caso de una elevación brusca de temperatura. Ambos sistemas funcionan bien, no obstante el segundo suministra mas información y facilita el conocer en que punto se produce el fenómeno. En el primer caso debe recurrirse a acantonar el cable mediante buses.

4.10. POSTES SOS

La misión de los postes SOS es permitir el aviso y comunicación de cualquier incidencia por los usuarios del túnel Normalmente se ubican en nichos situados en ambas márgenes. Estos nichos disponen de su correspondiente señalización y están ubicados cada 200 metros asimismo disponen de suministro de aire fresco para evitar su afección por los humos. El poste permite la comunicación bi-direccional con el centro de operaciones mediante fonía.

El sistema permite determinar cual es el poste que envía el aviso así como permite la comunicación simultanea entre varios postes de SOS. Como medida de seguridad el sistema se autochequea a intervalos determinados de funcionamiento, enviando una señal en caso de avería en un poste.

4.11. CAMARAS DE TV EN CIRCUITO CERRADO (CCTV) CON DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE INCIDENCIAS

El sistema de CCTV permite visionar todo el túnel de manera real. Normalmente se trata de cámaras fijas en el interior y móviles en el exterior. Estas últimas van dotadas de zoom y visión en color que permite alejar o acercar la visión. Normalmente se sitúan cada 100 metros y llevan asociado un sistema de detección automática de incidentes basado en el análisis continuo de la pantalla. Cuando un objeto en movimiento se detiene el sistema emite una señal de emergencia indicando que un vehículo se ha detenido. Es un sistema de última generación muy utilizado hoy en día por la rapidez en advertir una incidencia.



4.12. RED DE SUMINISTRO DE AGUA Y EXTINTORES

Esta instalación permite atender los incendios que se producen en el interior del túnel. Normalmente se ubican en un solo lado del túnel, aprovechando un nicho de SOS, y se dispone de un extintor polivalente de polvo seco de 10-15 Kg. y de manguera contra incendios. Adicionalmente existe una toma para el personal contra incendios a la que pueden conectar sus mangueras.

El sistema necesita una reserva de agua (75-100 m³), así como una conducción a todo lo largo del túnel con sus derivaciones hasta los nichos de incendio. Asimismo debe estar sometida a presión constante para lo que necesita una bomba jockey. El suministro queda garantizado por bombas hidráulicas situadas en el origen de la conducción.

Un dispositivo de seguridad avisa al centro de operaciones en caso de que el extintor sea sacado de su soporte o bien en caso de utilizar la manguera.

4.13. DRENAJE DE VERTIDOS CONTAMINANTES Y/O CON RIESGO DE INCENDIO

Además del drenaje de recogida de aguas de filtración que se produce por el exterior del revestimiento se diseña una red de recogida de vertidos contaminantes e inflamables. Esta red recoge todo tipo de vertido que se produce en el interior del túnel y lo conduce a un CAZ que a su vez vierte cada 50 mts en un colector. Este colector dispone de unas arquetas sifónicas partidas que evitan la posibilidad de transmitir el incendio al fluido recogido.

Todo el vertido es recogido al final del colector en un depósito para permitir su recogida y su traslado a un lugar adecuado.

4.14 REFUGIOS PRESURIZADOS Y GALERIAS DE EVACUACION PRESURIZADAS

Normalmente los túneles de gran longitud disponen de galerías de evacuación paralelas. En estos casos se accede a dicha galería mediante una habitáculo presurizado mediante el suministro de aire fresco. Desde este habitáculo se accede a la galería de evacuación que dispone de su iluminación independiente y su ventilación.



En túneles menos largos, o en caso de no existir galería de evacuación existen refugios presurizados donde las personas pueden esperar hasta que son recogidas por los servicios de salvamento. Se ha demostrado que estas últimas son peligrosas si se encuentran cerca del foco del incendio ya que la elevada temperatura que se alcanza en caso de incendio carboniza a las personas produciendo su fallecimiento (Montblanc 1999). Parece que en túneles superiores a los 1.000 metros con tráfico medio o elevado (> 5.000 veh/día) debe disponerse de una galería de evacuación.

En todo caso los refugios presurizados deben permitir la ubicación de al menos 30 personas y, al igual que los accesos a la galería de evacuación, deben estar claramente señalizados y muy visibles, pues se ha demostrado que es muy frecuente que no se utilicen en caso de incendio por desconocimiento de las personas atrapadas. Es frecuente disponer estos elementos cada 400 metros.

Las puertas de acceso deben ser especiales para resistir el fuego. Dentro de los refugios, además del suministro de aire fresco, debe existir comunicación con el centro de operaciones, alumbrado de emergencia, instrucciones para actuar, y megafonía que permita dar instrucciones a las personas, siendo conveniente disponer de cámaras de TV.

4.15. BARRERAS EN ENTRADAS TUNEL

Ya se ha hablado de ellas con anterioridad. Básicamente se trata de barreras que cortan la entrada al túnel en caso de incidente, complementan a los semáforos ya que se ha comprobado que estos no siempre son efectivos. La barrera debe cortar el carril de entrada pero debe dejar un hueco para permitir la salida de vehículos y la entrada de vehículos de emergencia tales como bomberos, ambulancias, explotación propia del túnel etc.

Su funcionamiento será automático o manual y su misión es cortar la entrada de vehículos al túnel, habiéndose demostrado que en caso de incidencia es la primera medida a tomar.

4.16. MEGAFONIA

No está demostrado que la megafonía interior en un túnel sea efectiva por la reverberación que se produce y las interferencias entre altavoces. Los franceses lo desaconsejan por los efectos que se producen ya citados. En todo



caso parece lógico que exista megafonía en los refugios y en el exterior de los túneles.

4.17. DETECTORES DE PRESENCIA HUMANA

Esta instalación permite determinar la presencia humana en determinadas ubicaciones tales como nichos, galerías de evacuación, galerías de servicio, refugios etc.

4.18. CUESTIONES GENERALES SOBRE LAS INSTALACIONES Y APLICACION A UN CASO DE TUNEL LARGO COMO EL DE VIELHA (CN-230. 5.240 MTS. DE LONGITUD)

Como ya se ha indicado antes los túneles se ubican en zonas de montaña con climatología adversa y sometidos a tormentas, descargas eléctricas, etc. Todo ello produce en las instalaciones sobretensiones, fallos de suministro y efectos no deseados que obligan a dar la importancia que se merecen a las instalaciones de seguridad. Las instalaciones para la explotación y seguridad en los túneles obligan a asemejarlos con los procesos industriales, teniendo en cuenta que está en juego la vida de las personas. Asimismo debe tenerse en cuenta que el principal enemigo del túnel es el incendio.

Por todo ello los materiales que deben emplearse deben ser de primera calidad y resistentes al fuego y a las altas temperaturas. Todos los materiales expuestos deben ser M0. Deben diseñarse todas las protecciones posibles contra sobretensiones, fallos de suministro etc.

Debe preverse el funcionamiento de las instalaciones en caso de que falle una parte de las mismas. Debe señalizarse perfectamente las vías de evacuación y dar información a las personas retenidas.

Adicionalmente debe preverse en qué túneles es necesario disponer de medios de salvamento y contra incendios (ambulancias, bomberos etc.).

En el caso del nuevo túnel de Vielha (de 5.240 metros de longitud), cuyo proyecto se redacta en la actualidad, se han previsto todas las instalaciones anteriormente descritas, aprovechando el túnel actual como galería de evacuación y paso de mercancías peligrosas.



En total se han diseñado los siguientes sistemas de seguridad:

24 Ud de nichos de seguridad

24 Ud de nichos de incendio

12 Ud de refugios con conexión a la galería de evacuación

8 apartaderos para aparcamiento ocasional

La ventilación se proyecta semi-transversal reversible, disponiéndose los conductos entre la bóveda y el falso techo, con trampillas de aspiración telecomandadas, en caso de incendio, de 2,0x0,75 cada 100 metros. El volumen a aspirar previsto es de 130 m³/seg. La impulsión del aire se produce por trampillas ubicadas cada 11 metros. La iluminación es en hastiales al tresbolillo con un nivel lumínico en la zona central de 72 lux. Las lámparas son VSAP.

Todas las conducciones se ubicarán en una galería de servicios, ubicada bajo la solera, de 2,50 x 2,00 metros. Se prevé como conducciones generales el suministro en alta, el suministro en baja, la conducción de agua para incendios y la red de suministro de aire fresco para los locales presurizados (nichos y refugios). Asimismo dispondrá de un colector para recogida de vertidos.

Todas las señales que se envíen al centro de control serán enviadas mediante fibra óptica. El suministro de energía se prevé doble mediante las correspondientes líneas en boca Norte y boca Sur, asimismo se dispondrá de grupos electrógenos.

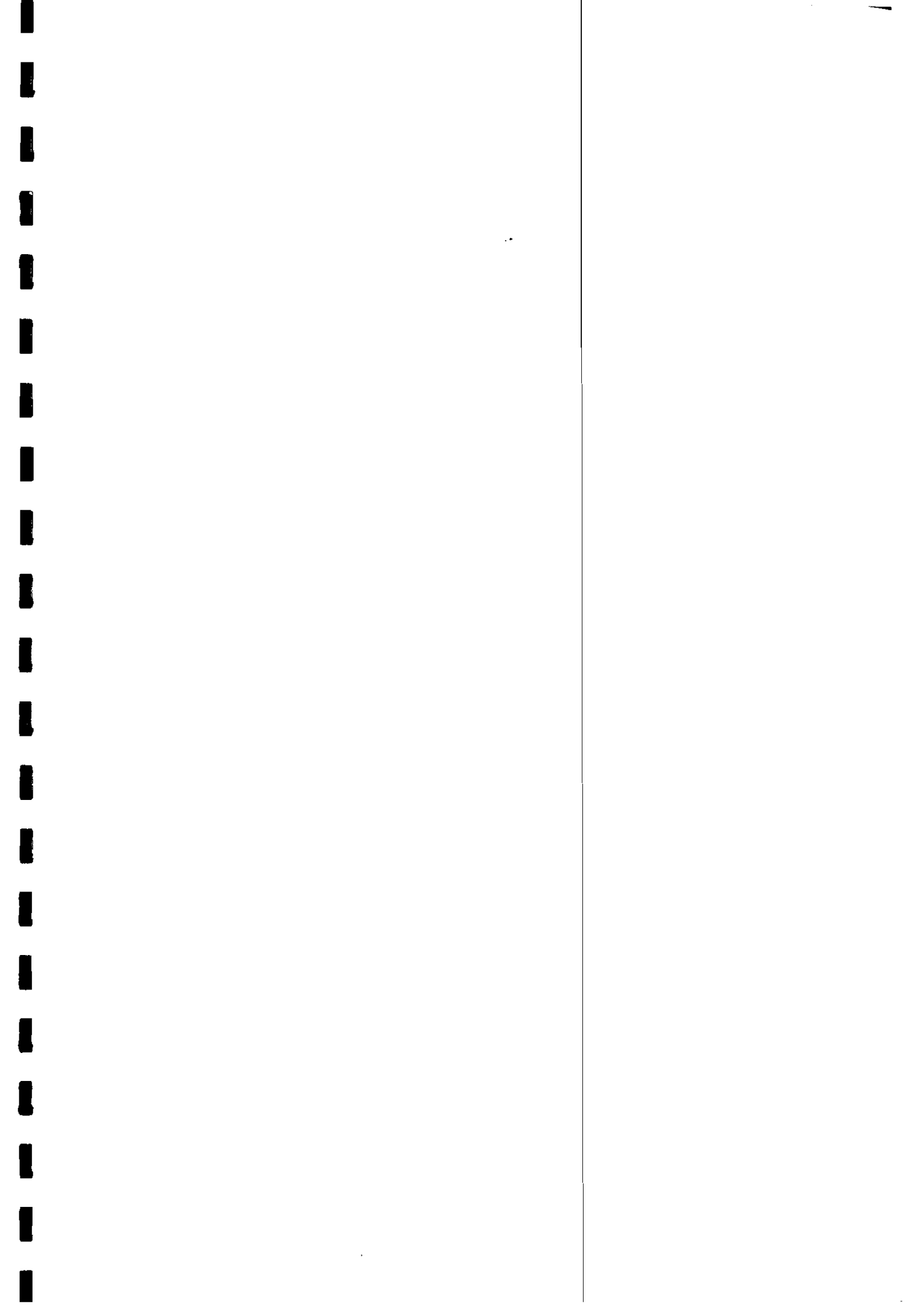
El proyecto contempla la construcción de un nuevo centro de control junto a la boca norte desde donde se gestionarán todas las instalaciones.

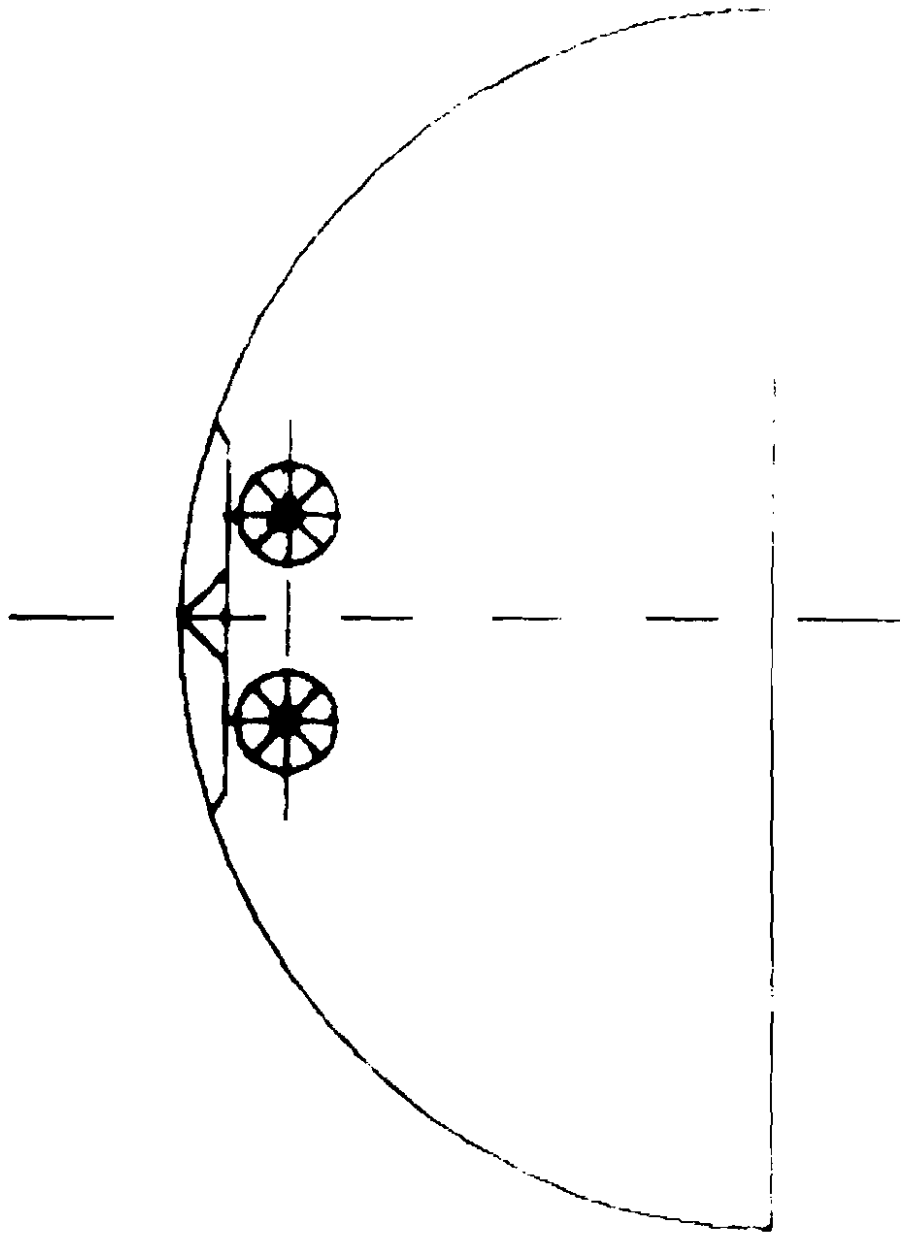
Seguidamente se adjuntan una serie de planos en los que pueden verse las instalaciones previstas para el túnel de Vielha.



ANEJO I

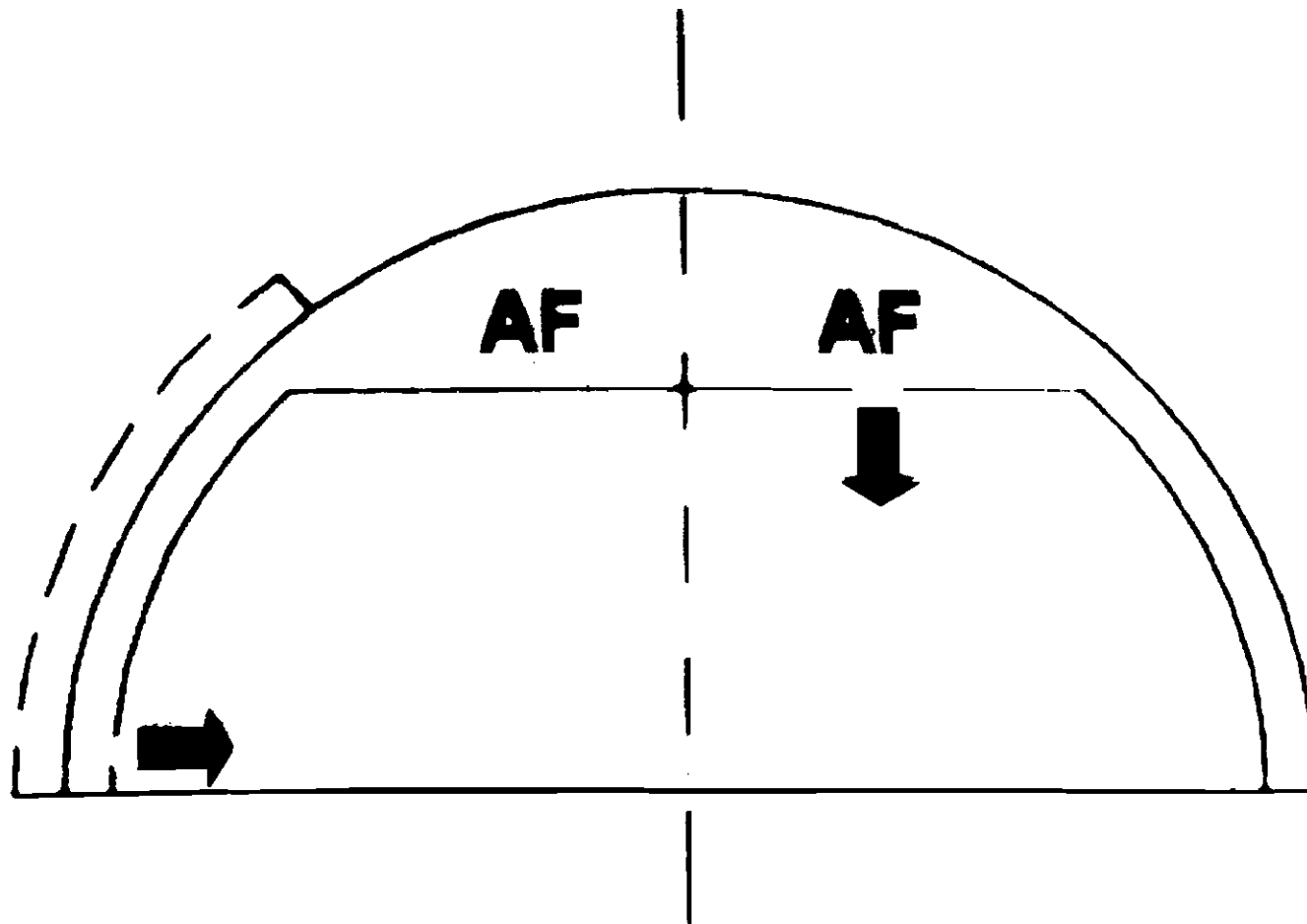
GRÁFICOS



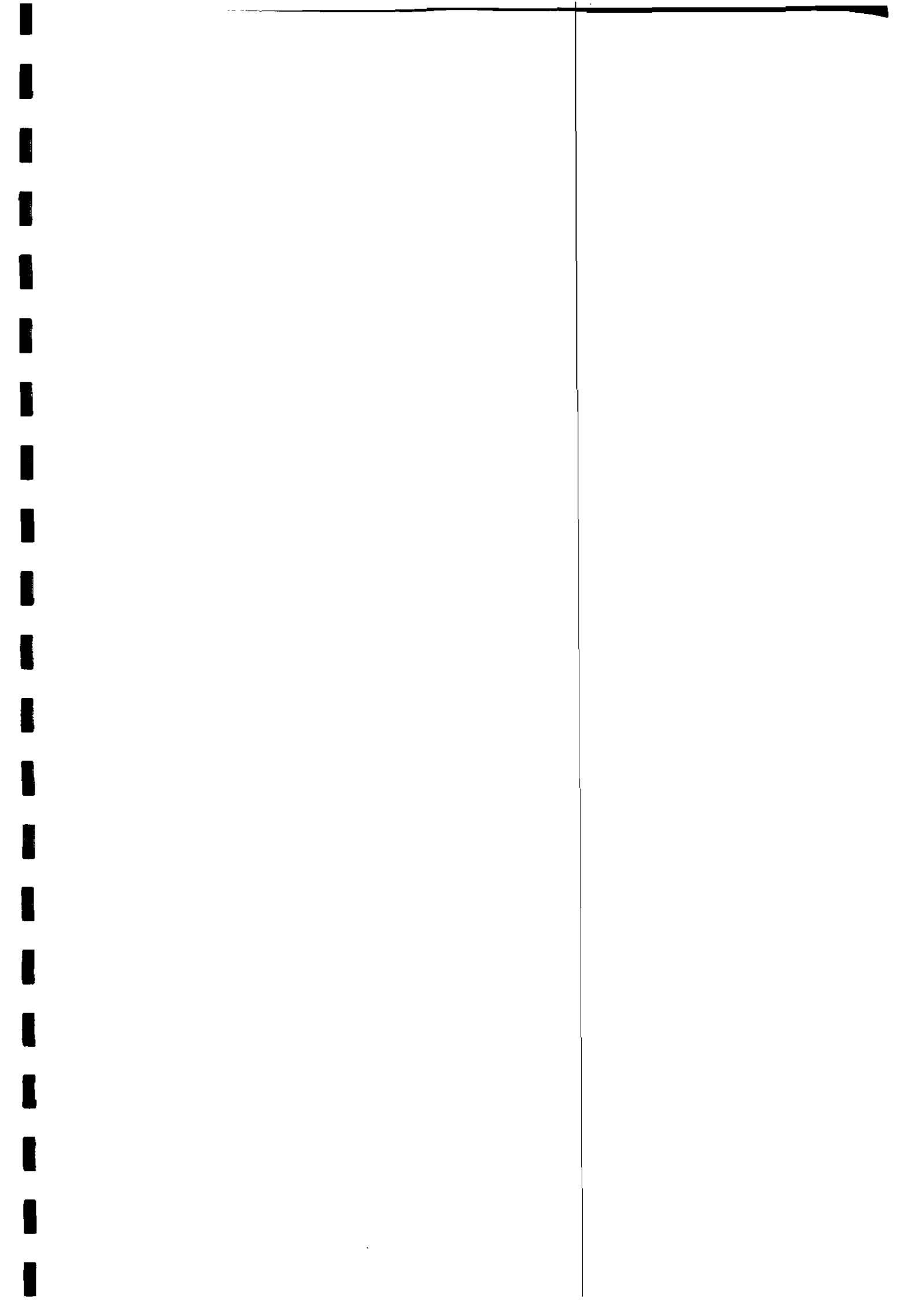


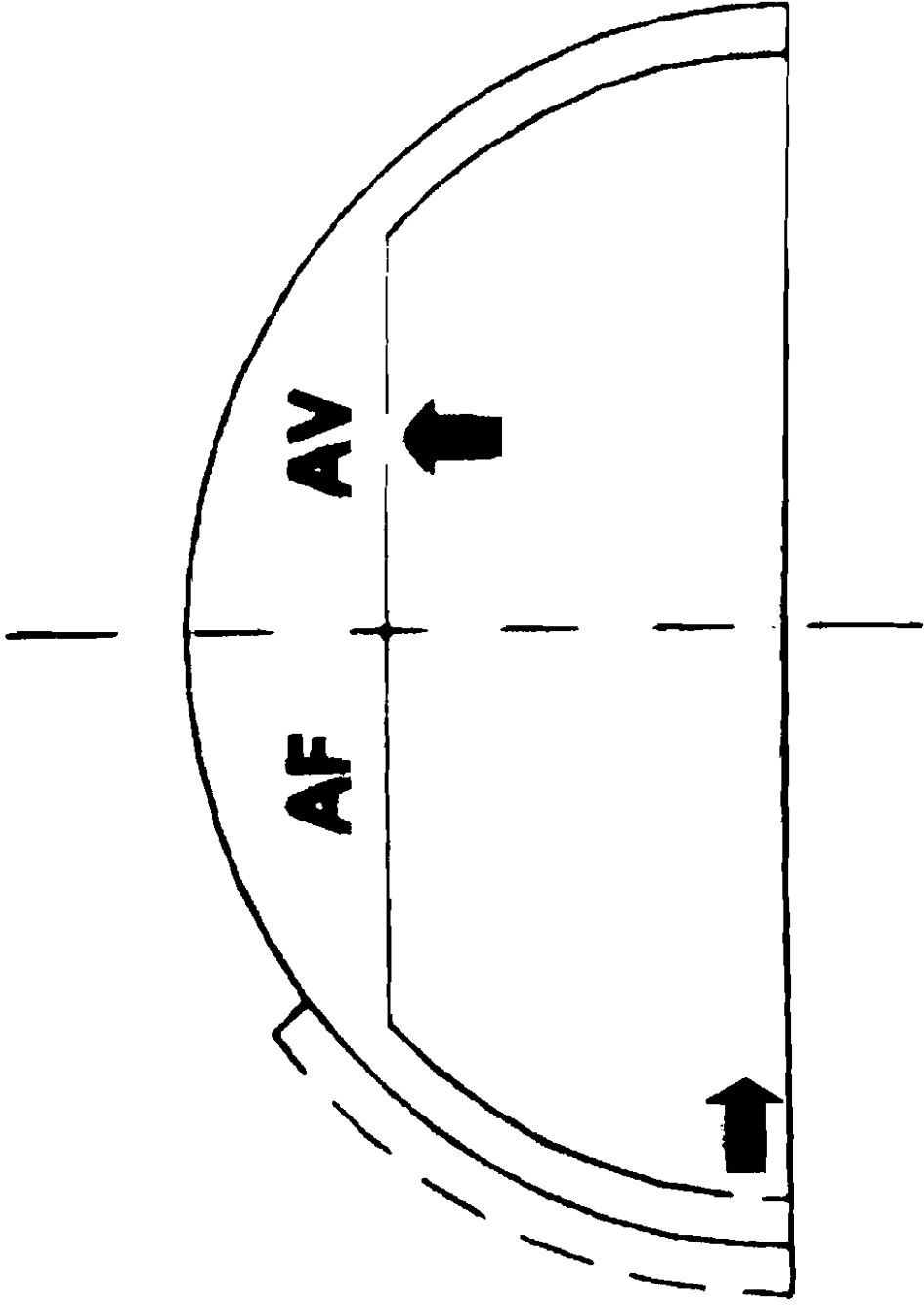
SISTEMA DE VENTILACION LONGITUDINAL



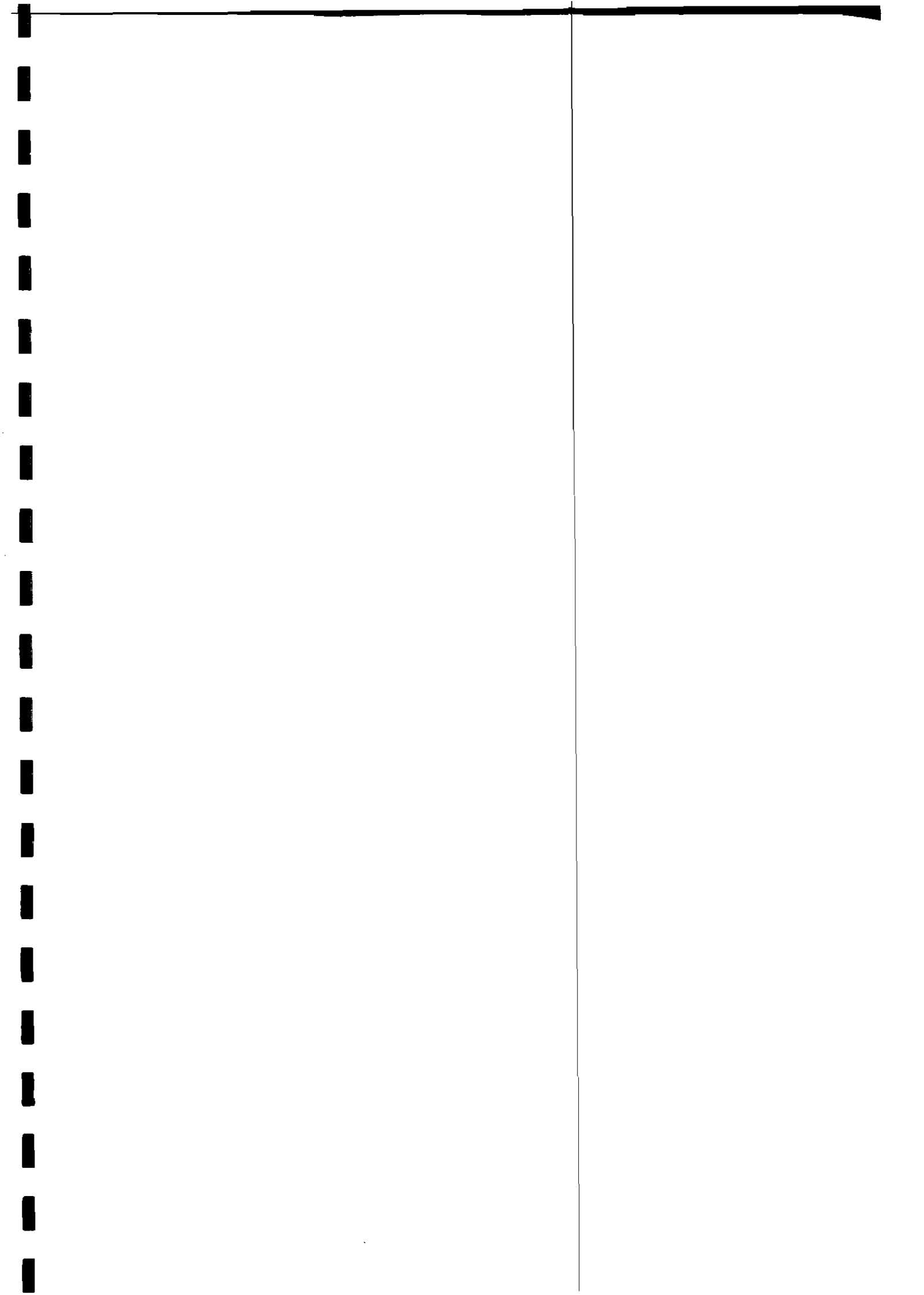


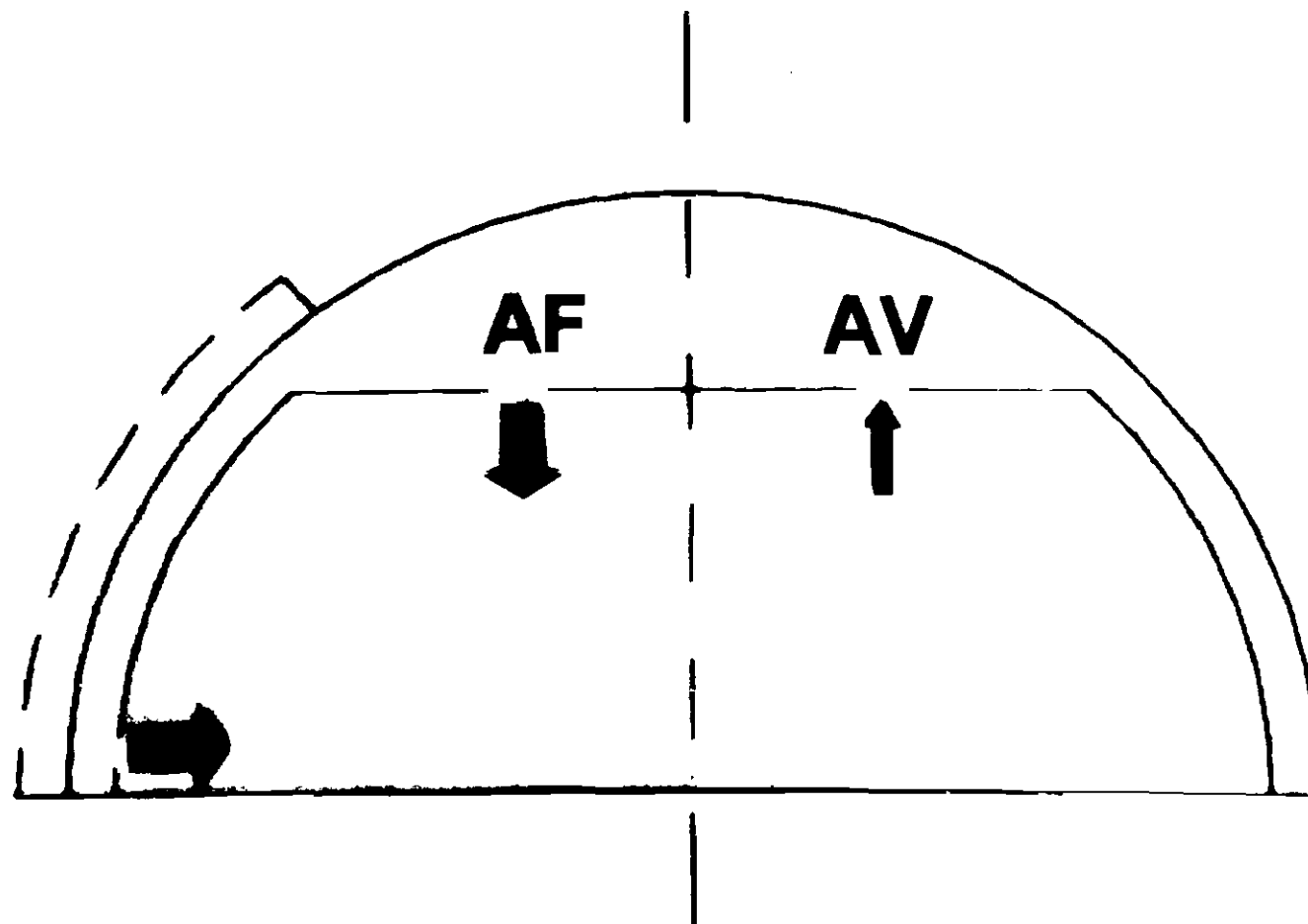
SISTEMA DE VENTILACION SEMITRANSVERSAL



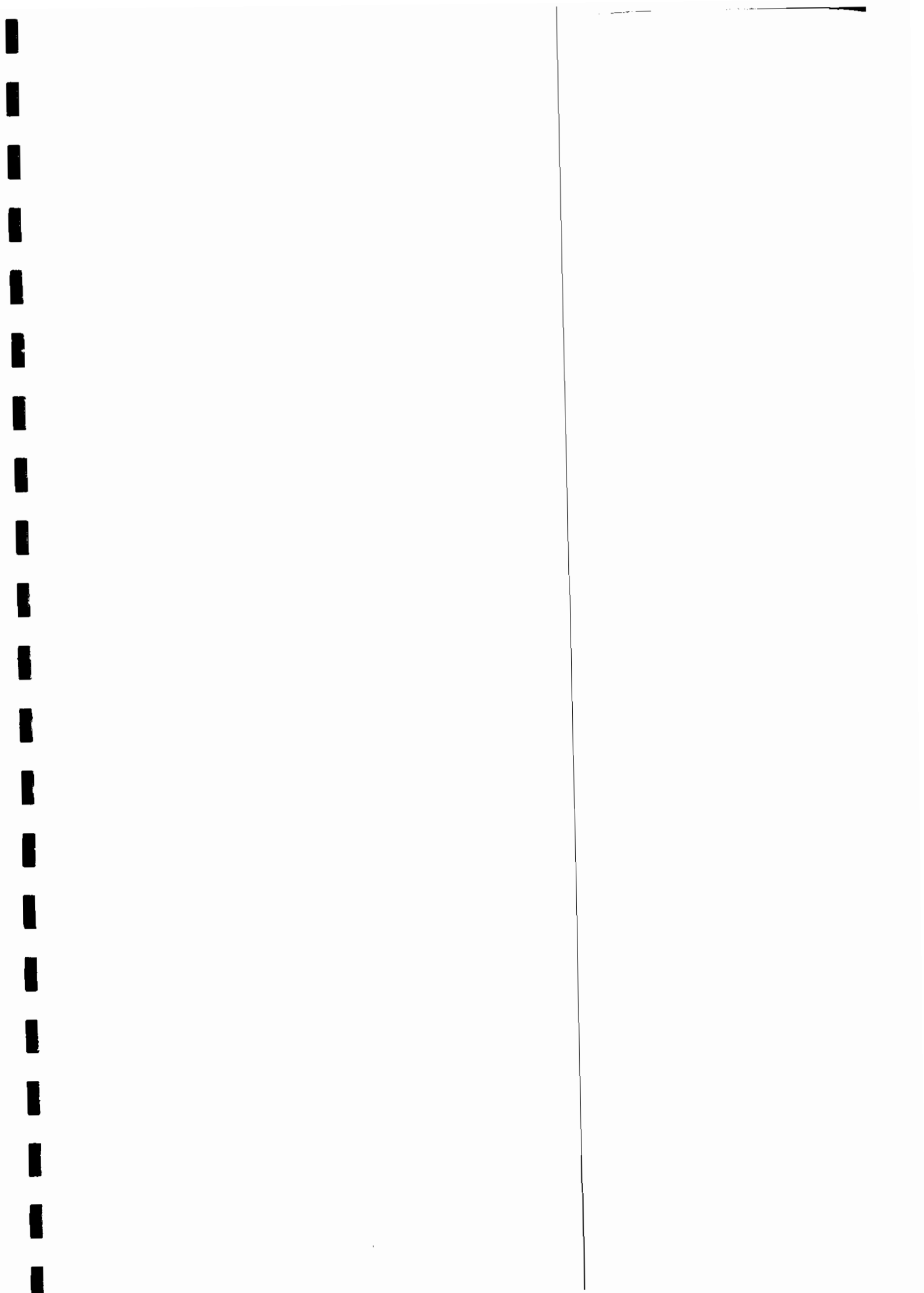


SISTEMA DE VENTILACION TRANSVERSAL



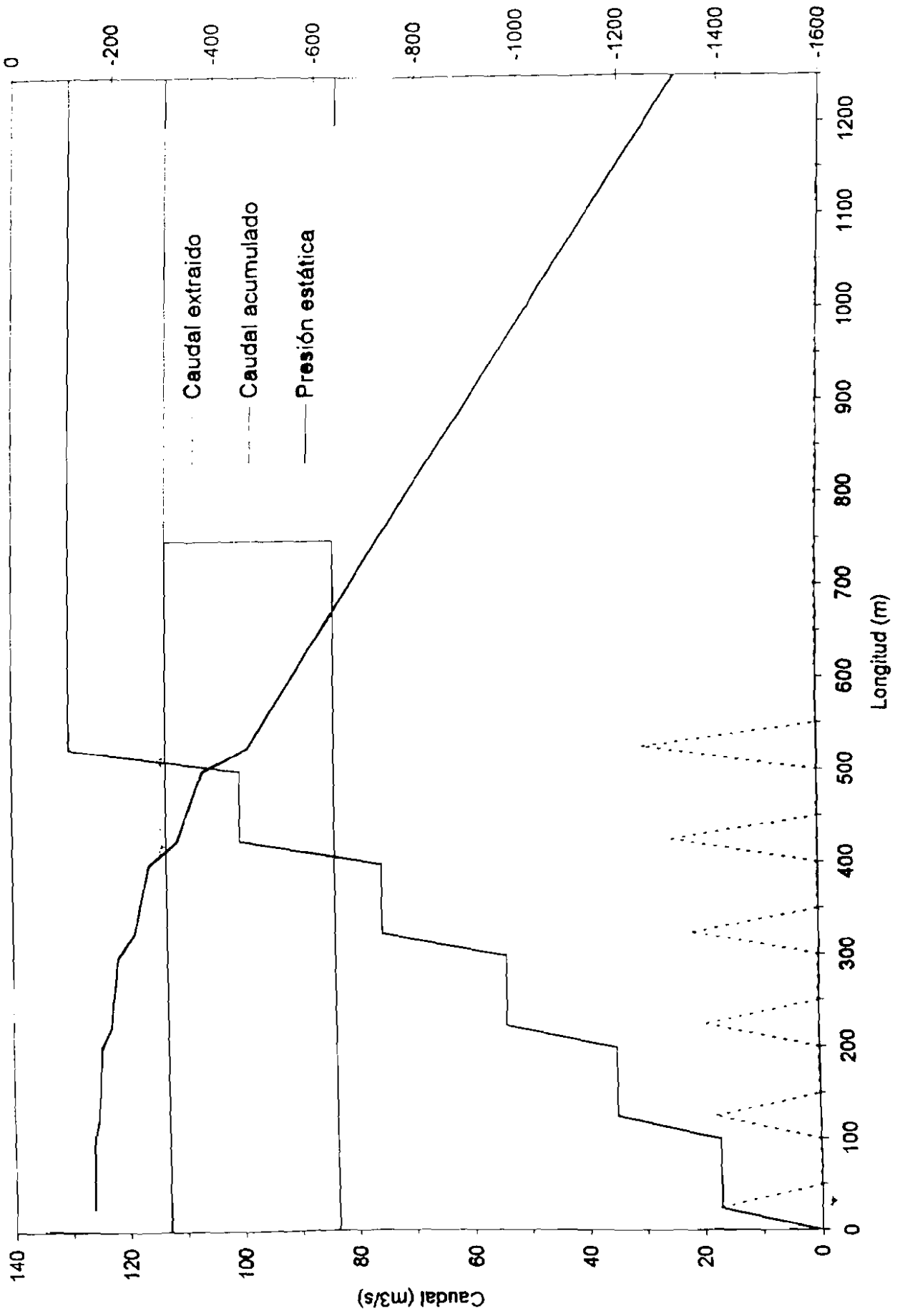


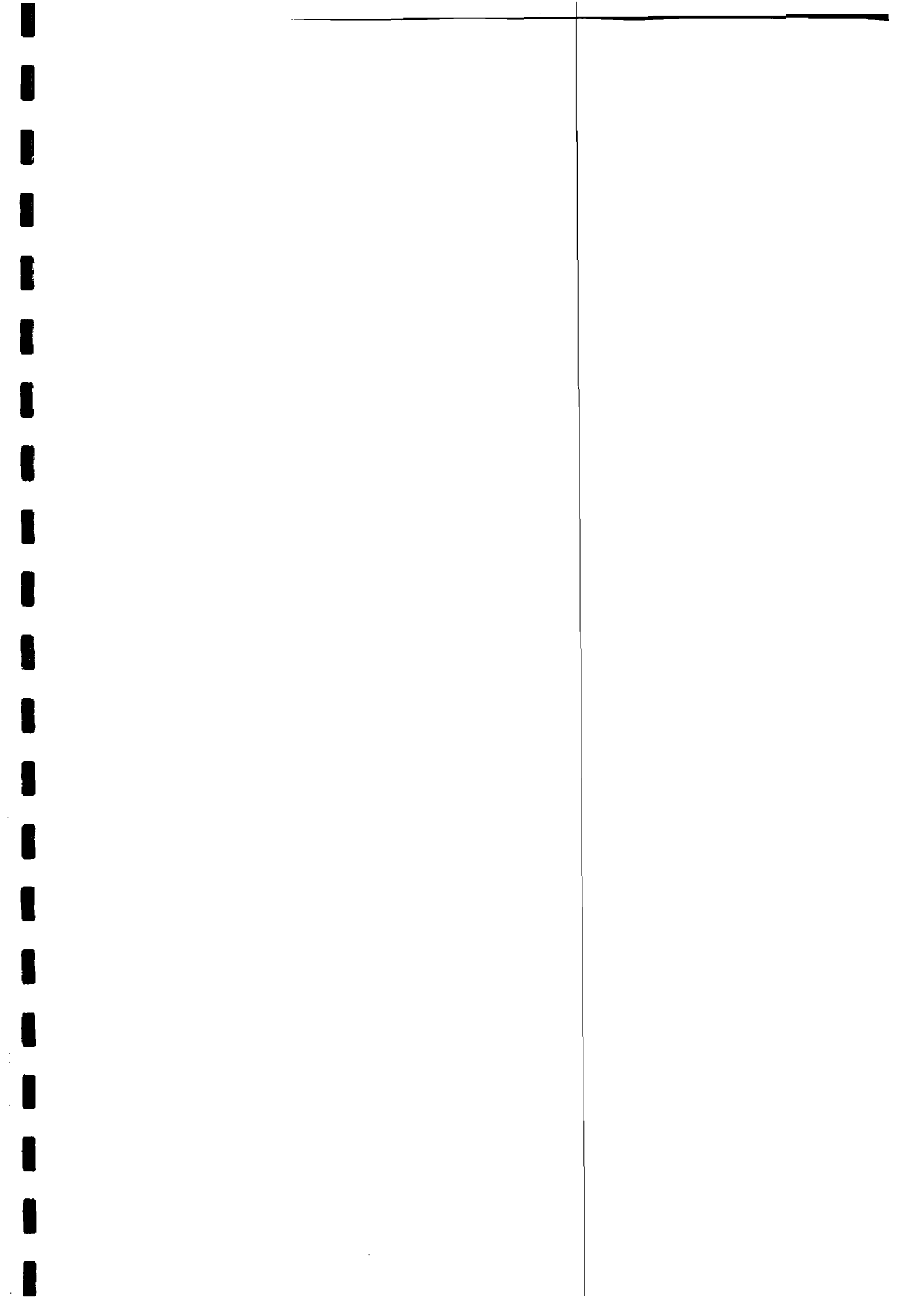
SISTEMA DE VENTILACION SEUDOTRANSVERSAL



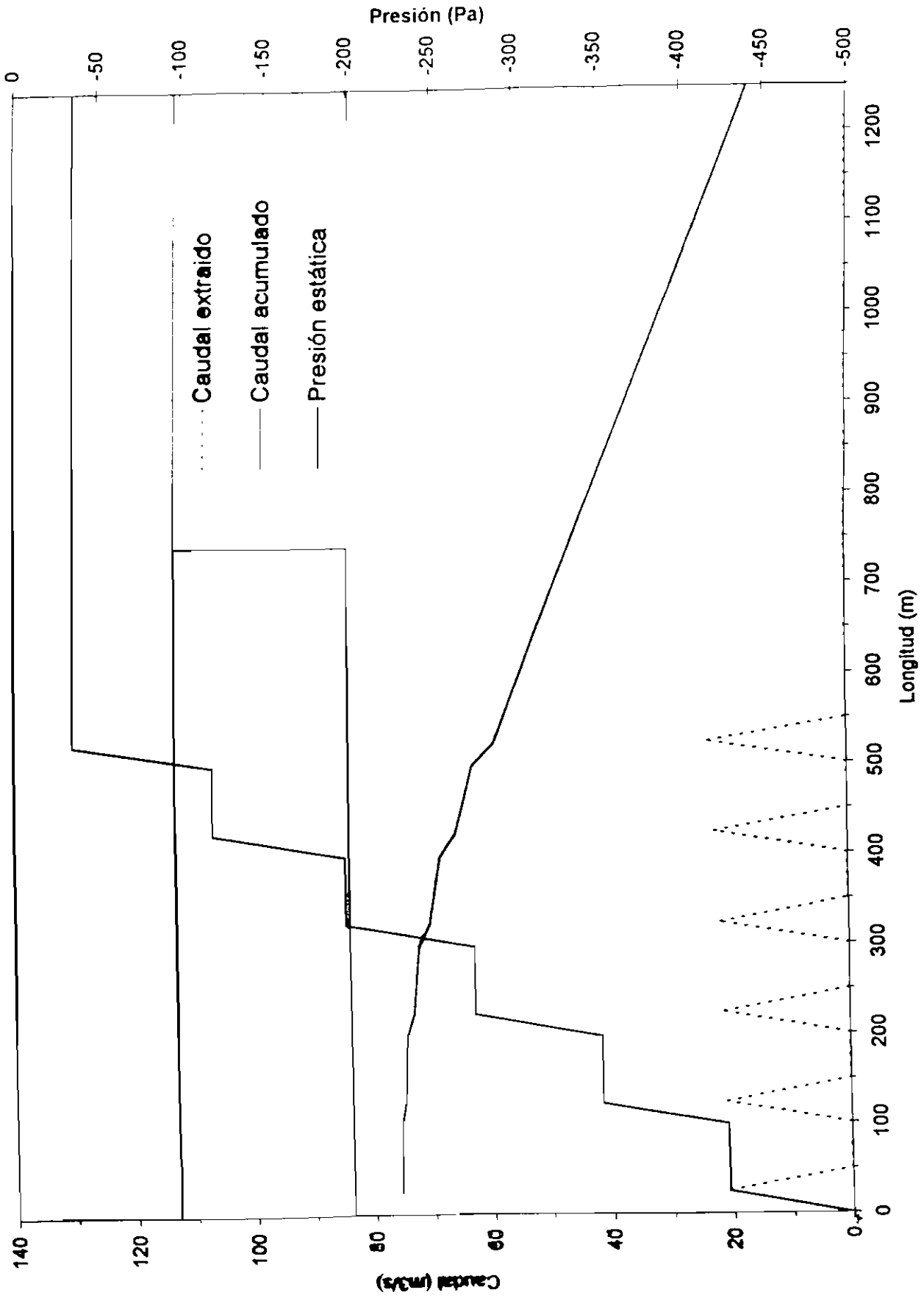


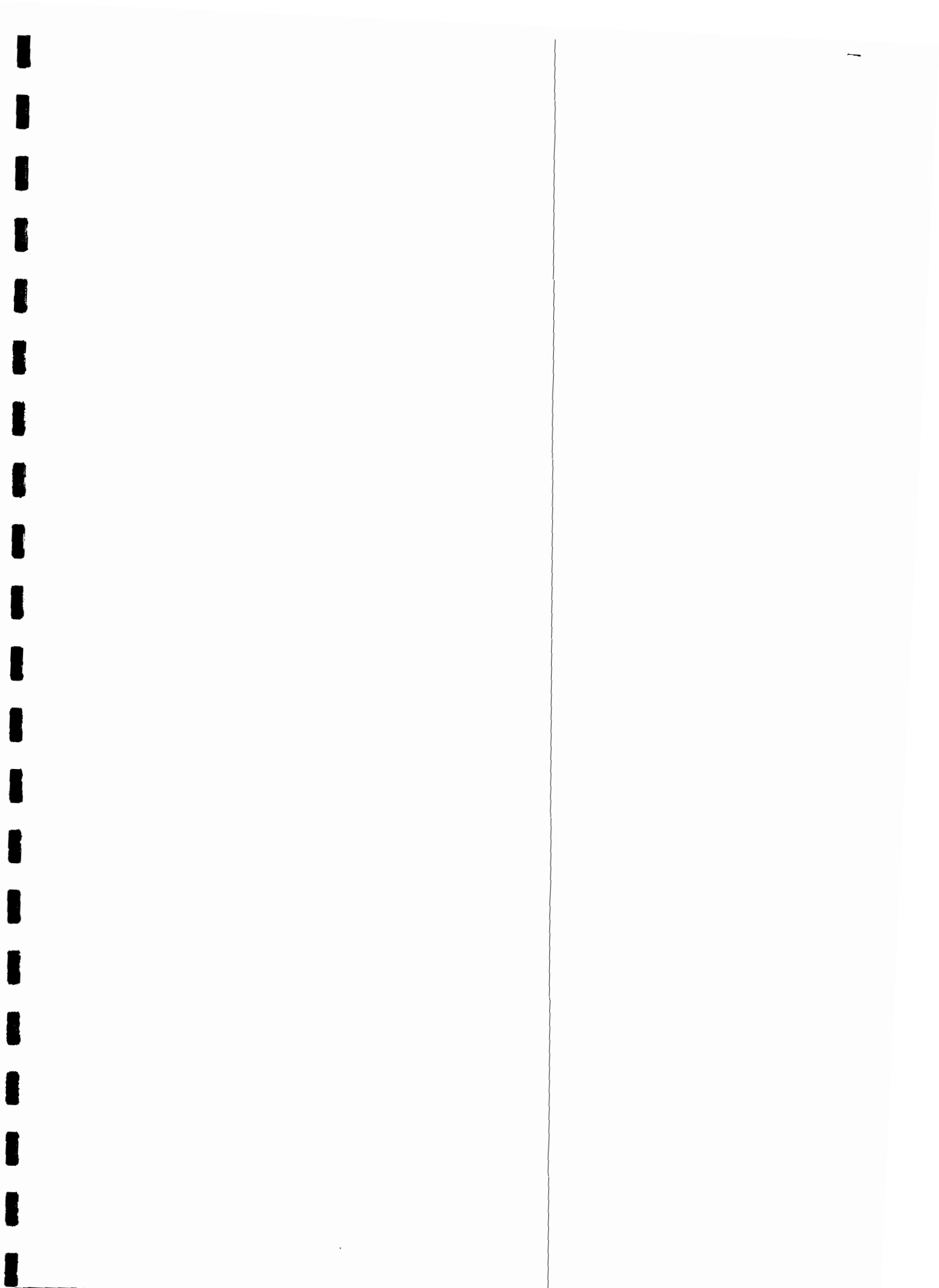
CANTÓN 1





CANTÓN 2

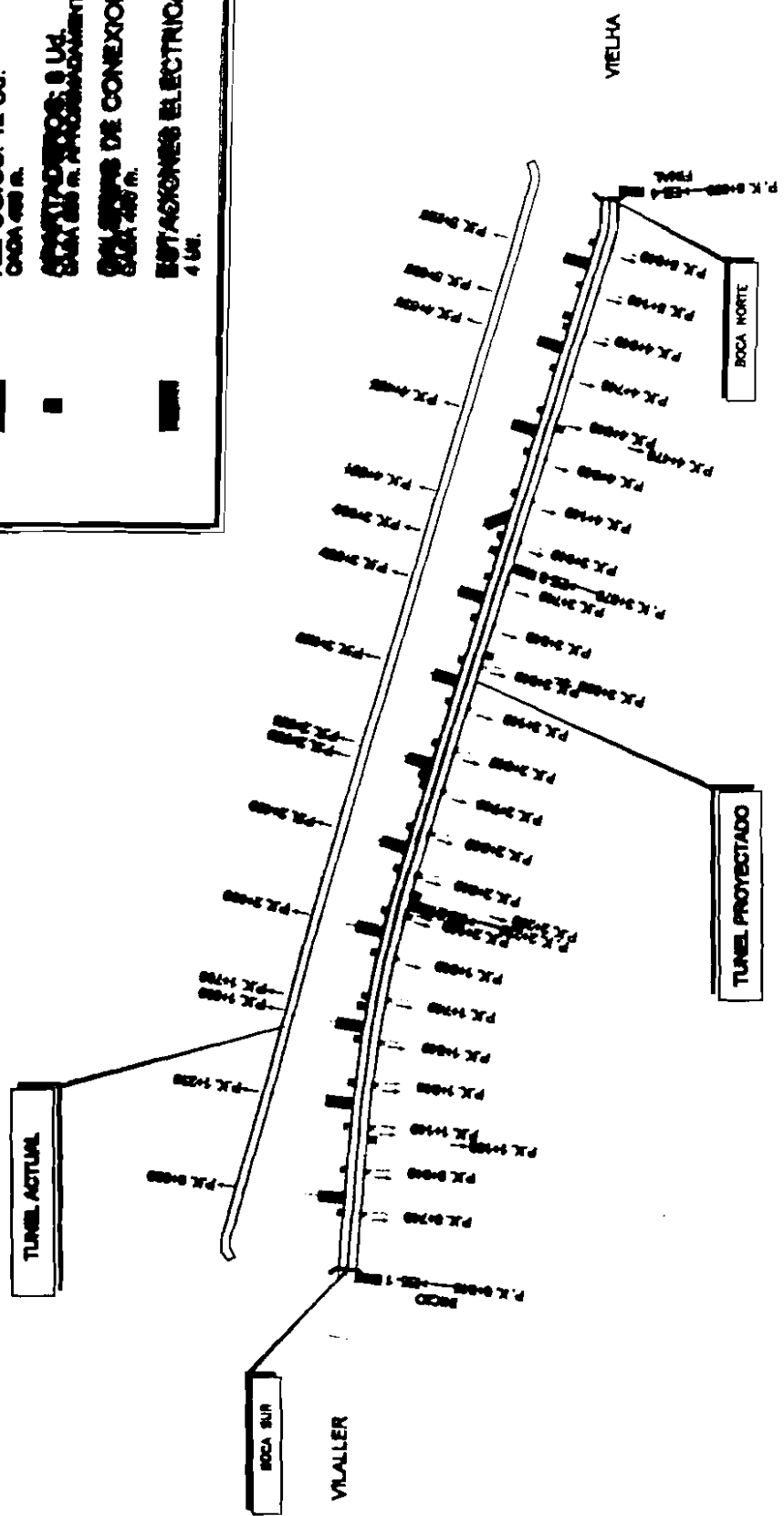




PROBLEMA DE SITUACION DE LAS OBRAS SUBTERRANEAS ANEJAS

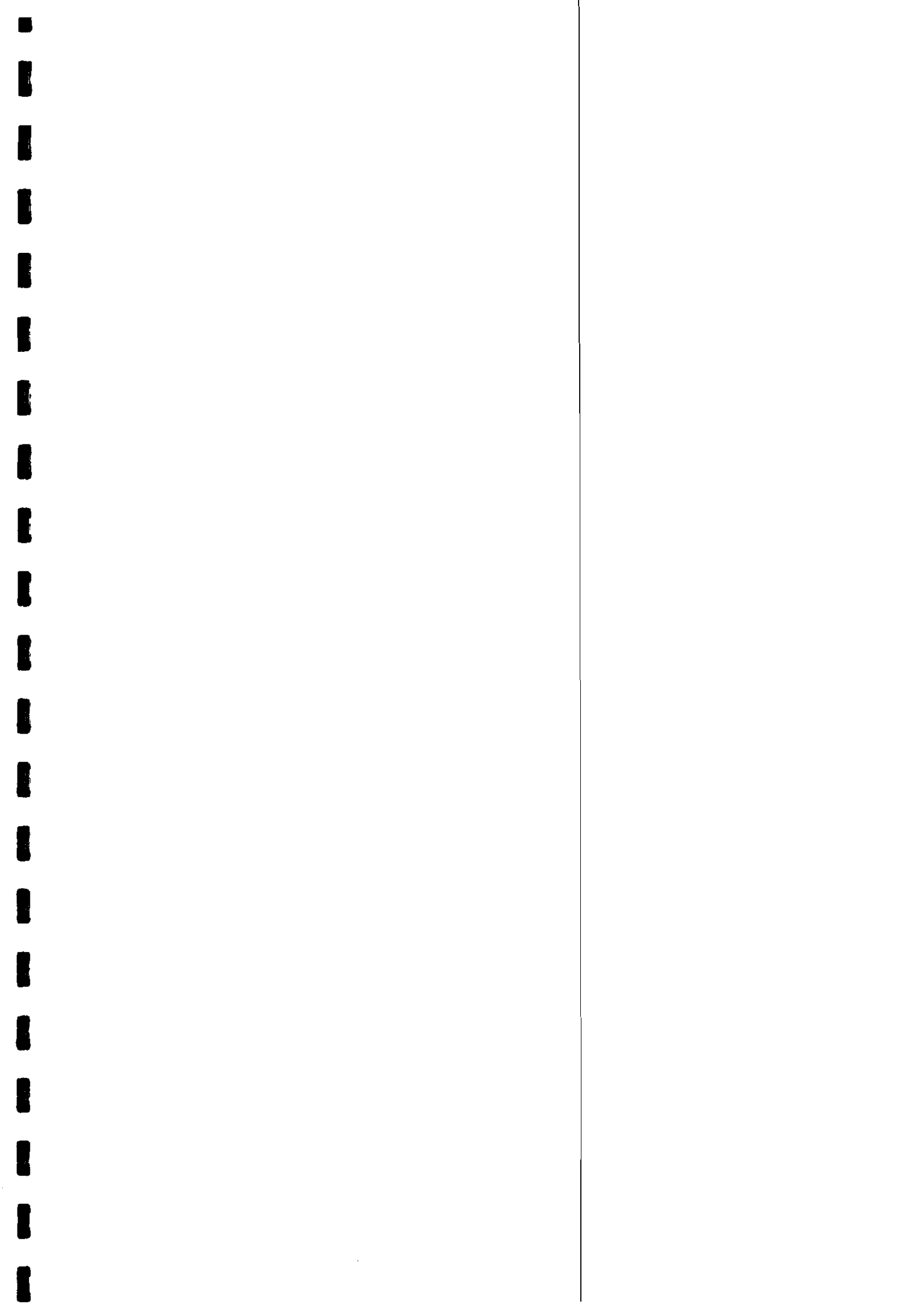
-LEYENDA-

- NICHOS DE SEGURIDAD: 24 Ud.
CADA 200 m.
- NICHOS DE INCENDIO: 24 Ud.
CADA 200 m.
- REFUGIOS: 12 Ud.
CADA 400 m.
- APERTURAS: 8 Ud.
CADA 200 m. PROXIMAMENTE.
- OMLAS DE CONEXION: 12 Ud.
CADA 200 m.
- ESTACIONES ELECTRICAS:
4 Ud.

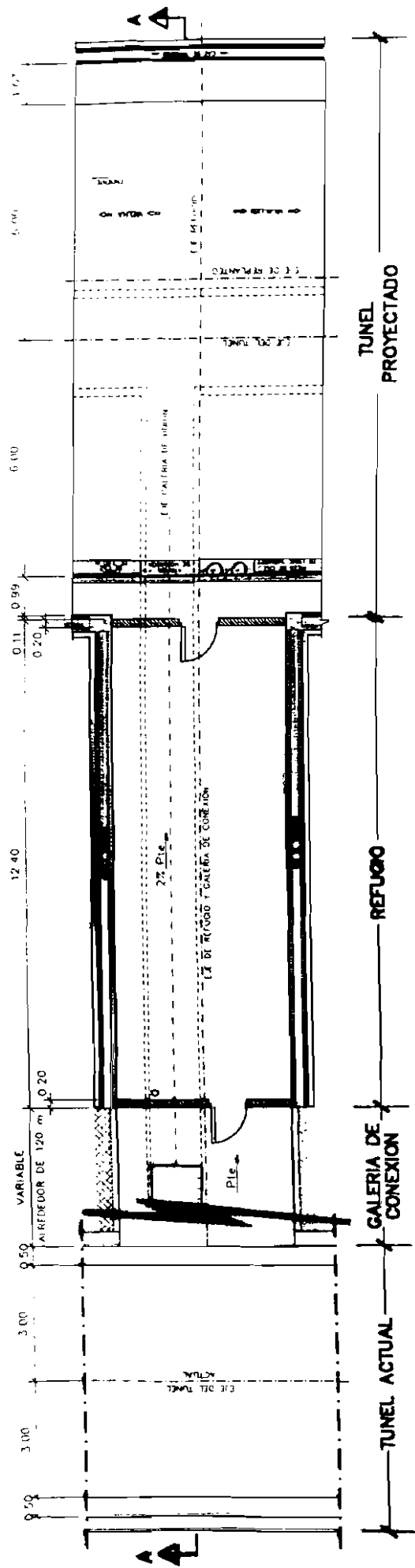


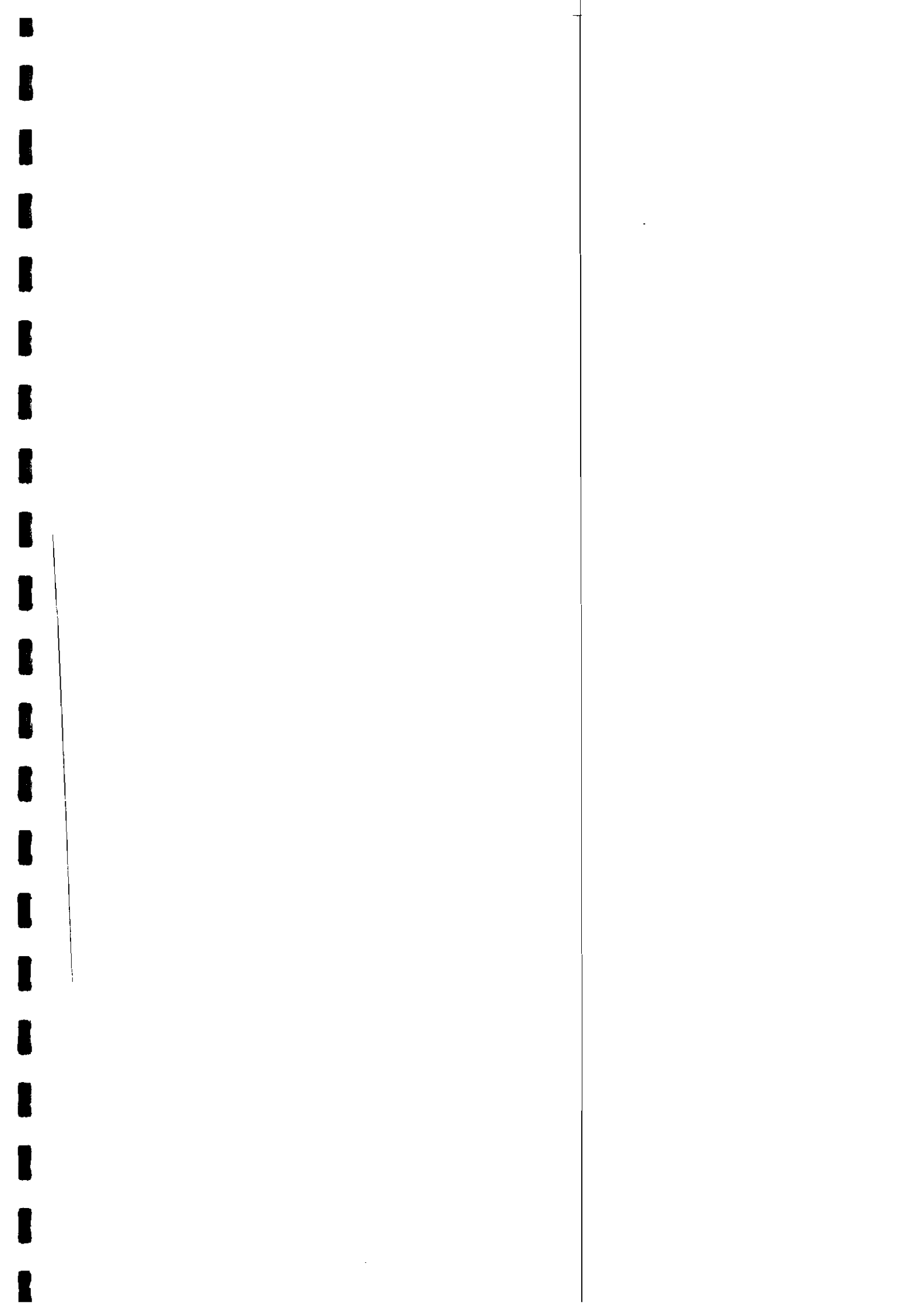
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

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
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

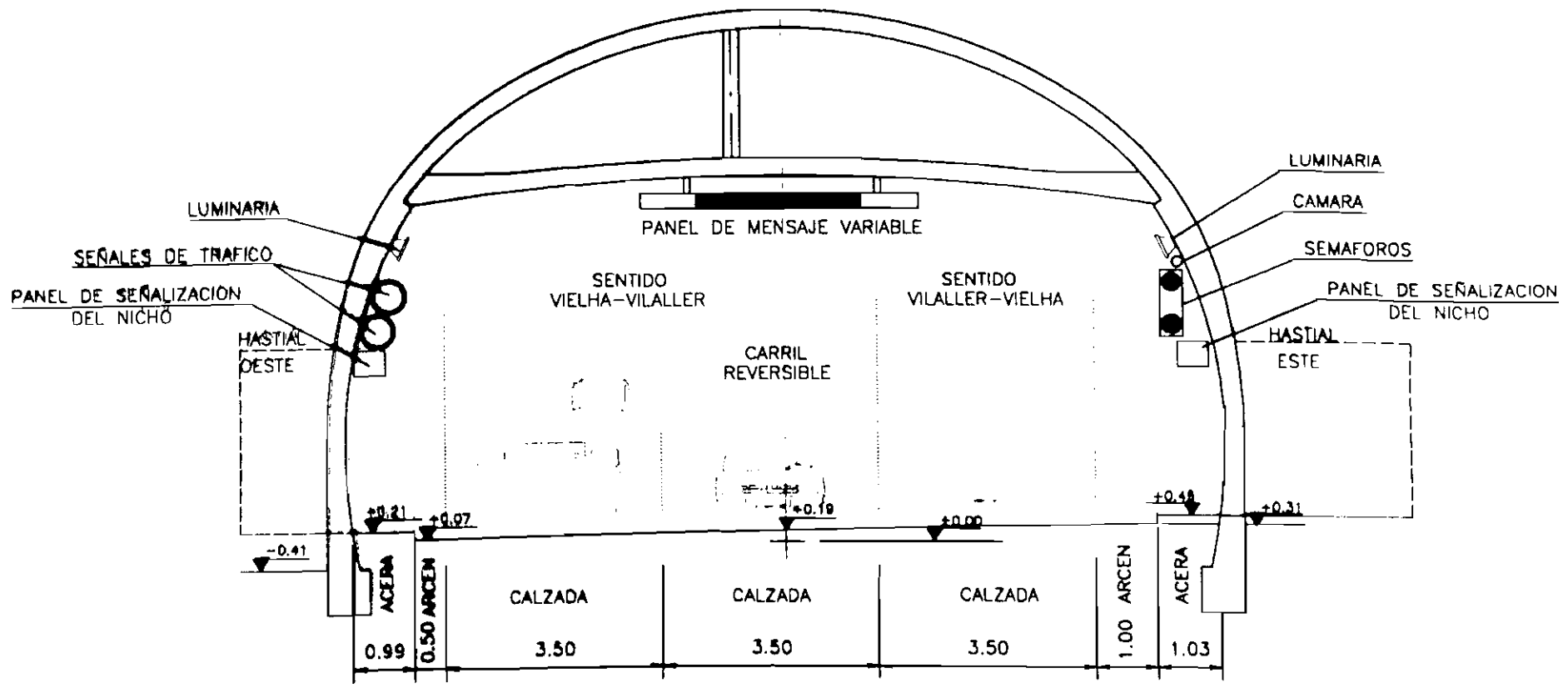


**REFUGIOS Y GALERIAS DE CONEXION
ENTRE TUNELES
- PLANTA -**



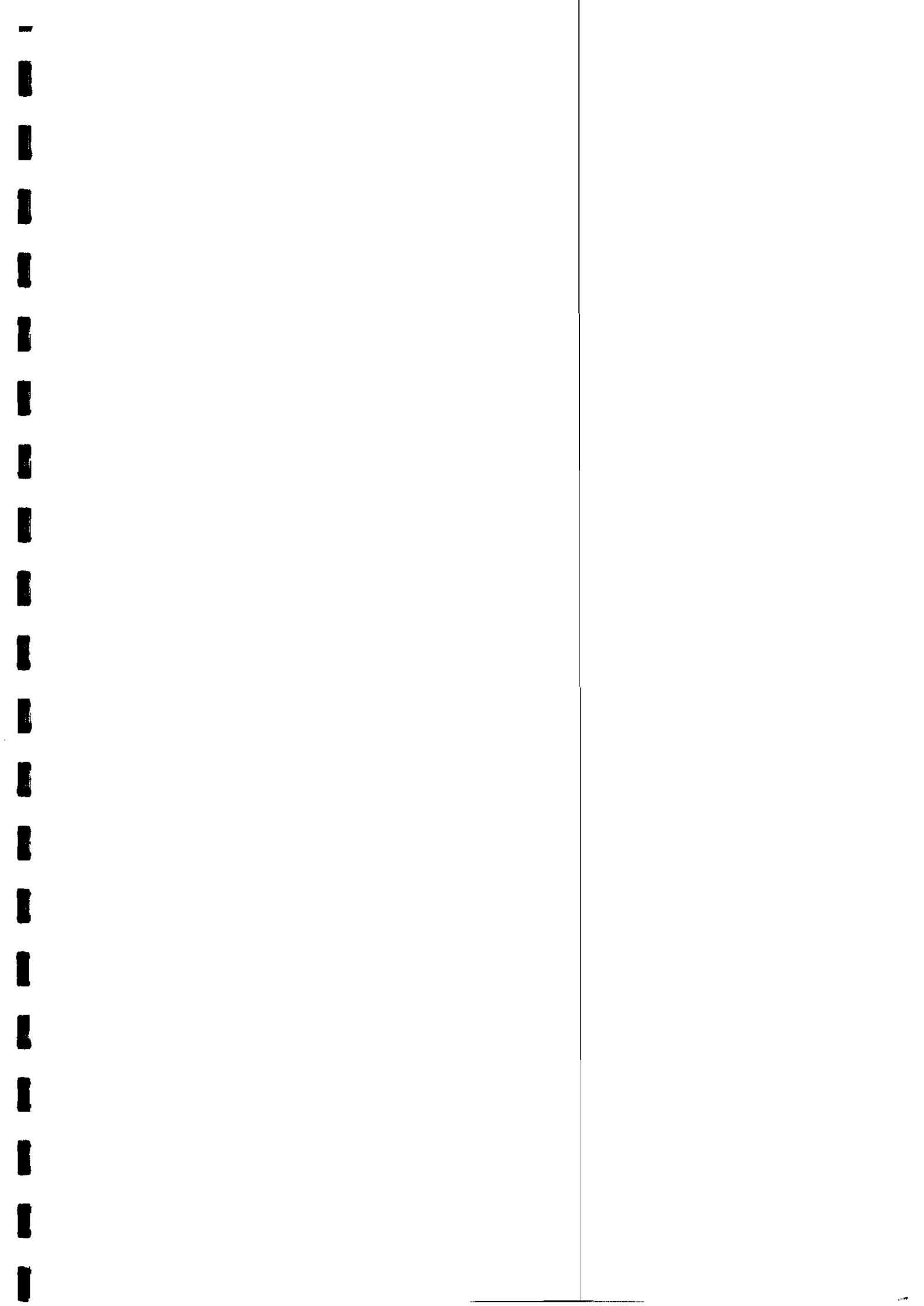






SECCION TIPO
TUNEL TERMINADO



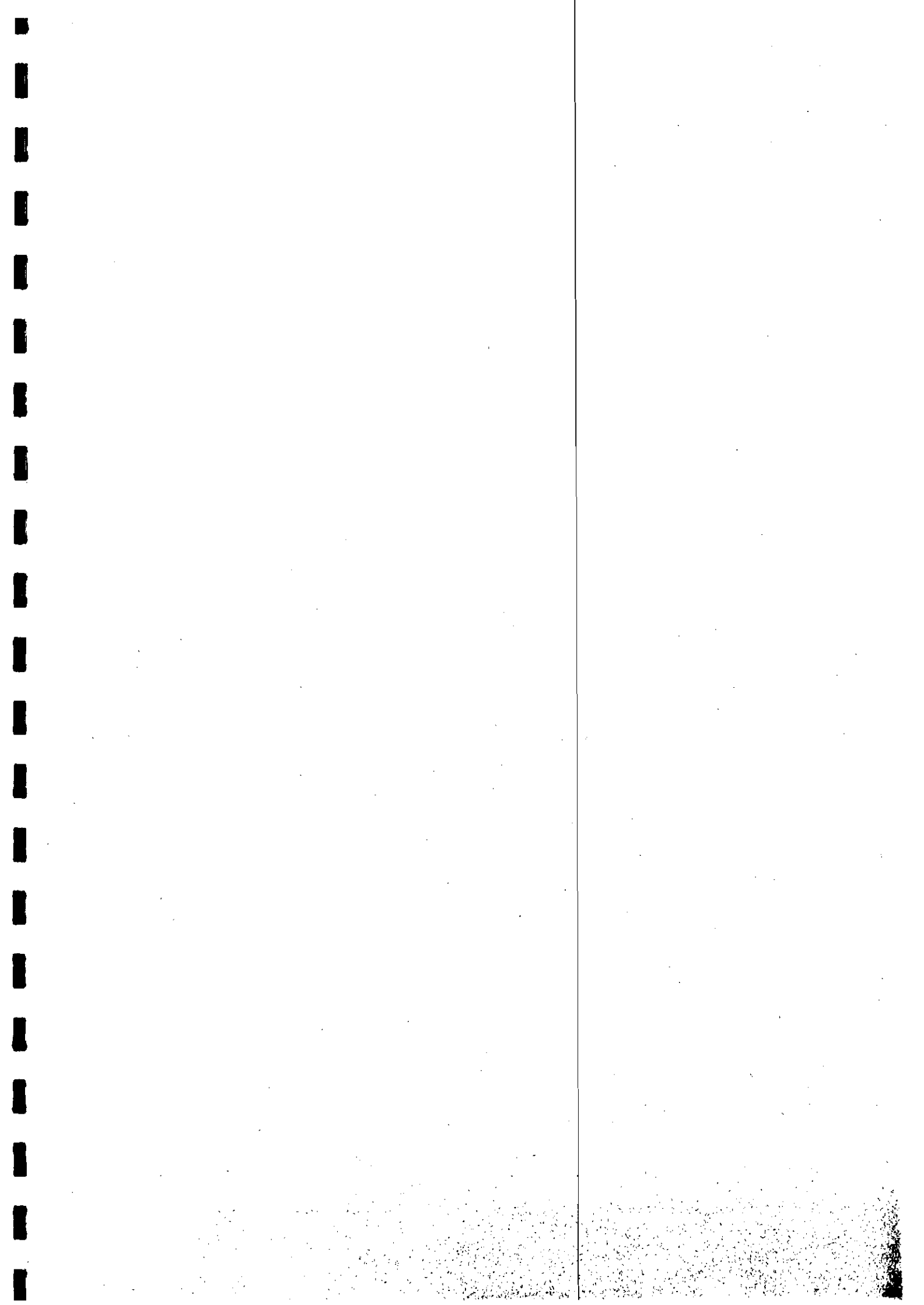




SEGURIDAD EN TÚNELES FERROVIARIOS

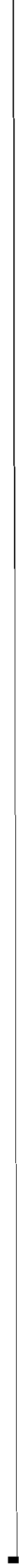
ANTONIO GUTIERREZ BLANCO

ING. CAMINOS, CANALES Y PUERTOS





5.1.- INTRODUCCION.....	1
5.2.- TUNELES FERROVIARIOS URBANOS.....	1
5.2.1.- ASPECTOS A TENER EN CUENTA.....	1
5.2.2.- DETECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LA EMERGENCIA.....	2
5.2.2.1 <i>Postulados de tráfico ferroviario.....</i>	2
5.2.2.2 <i>Consecuencias de lo anterior.....</i>	2
5.2.3.- EVACUACIÓN.....	2
5.2.4.- INTERVENCIÓN DE SERVICIOS PÚBLICOS.....	4
5.3.- TUNELES FERROVIARIOS NO URBANOS.....	5
5.3.1.- ASPECTOS A TENER EN CUENTA.....	5
5.3.2.- DETECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LA EMERGENCIA.....	5
5.3.3.- EVACUACIÓN.....	5
5.3.4.- INTERVENCIÓN DE SERVICIOS PÚBLICOS.....	6
5.3.5.- POSIBLES SOLUCIONES (TÚNELES NO URBANOS).....	7
5.4.- CONCLUSIONES.....	8





5.1.- INTRODUCCION

Durante la ejecución de una obra ferroviaria lógicamente se toman todas las medidas posibles en cuanto a construcción y bloqueos, tendentes a evitar accidentes debidos al tráfico o a problemas derivados de defectos en la propia construcción. Sin embargo el objeto de estas jornadas es el estudio de las actuaciones una vez que se ha producido una situación de emergencia durante el uso del túnel.

Desde este punto de vista se puede hacer una clasificación de los túneles ferroviarios en urbanos y no urbanos.

5.2.- TUNELES FERROVIARIOS URBANOS

5.2.1.- ASPECTOS A TENER EN CUENTA.

El tráfico en túneles ferroviarios urbanos es predominantemente de viajeros.

Las medidas de seguridad deben atender por tanto a tres objetivos:

Detección e identificación de la emergencia.

Garantizar una rápida evacuación.

Facilitar la intervención de servicios públicos.

La posibilidad de accidentes en los que estén implicadas mercancías potencialmente peligrosas es baja y lógicamente disminuye según aumenta el % de trenes de viajeros en los casos de tráfico mixto.

La distancia entre estaciones es corta (2,0 km.)

La utilización cada vez más frecuente de trenes de tracción eléctrica disminuye la posibilidad de gases tóxicos a no ser los procedentes de materiales transportados o los humos de un incendio.

La incidencia de accidentes ferroviarios por la menor frecuencia del tráfico y la propia seguridad inherente a este sistema de transporte es muy pequeña comparada con la del tráfico de automóviles.



5.2.2.- DETECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LA EMERGENCIA

5.2.2.1 Postulados de tráfico ferroviario

Un tren circulará por un tramo de vía (CANTON) solamente cuando éste se encuentre libre de circulaciones u obstáculos.

Durante el movimiento de un tren se impedirá que el trayecto ocupado (CANTON) pueda ser utilizado por otras circulaciones.

Estas disposiciones las tiene que adoptar el personal de tierra (líneas y estaciones).

5.2.2.2 Consecuencias de lo anterior

En el tráfico ferroviario se han desarrollado diversos sistemas que informan al personal de estaciones de la situación de cada tren. Los vínculos entre las señales percibidas y las condiciones de vía se denominan de forma genérica ENCLAVAMIENTOS. Las condiciones de vía se conocen por medio de circuitos eléctricos que indican el paso de un tren por una zona determinada.

De lo anterior se deduce que es posible detectar en un puesto de mando y control cualquier incidencia ferroviaria que implique la parada de un tren y aproximadamente el tramo de vía en que se ha producido ésta.

Se han desarrollado sistemas de comunicación tren - tierra que permiten transmitir instrucciones al maquinista y a la vez recibir de éste.

Por tanto en túneles ferroviarios se debe producir una rápida detección de cualquier situación anómala y una identificación de ésta o al menos una evaluación aproximada de que puede ser grave (el maquinista no contesta).

5.2.3.- EVACUACIÓN

Lógicamente las condiciones de evacuación dependen del tipo de tráfico implicado en la situación de emergencia. Vamos a ceñirnos al supuesto de situación de emergencia relacionada con un tráfico de viajeros.



Existen una serie de problemas específicos de túneles ferroviarios que hay que tener en cuenta:

Falta de iluminación.

Evacuación de gran número de personas.

Dificultades de movimiento en plataforma con balasto y carriles.

La fórmula tradicional de evacuación ha sido el denominado tren de socorro al que se accedía mediante unos paseos laterales (estrechos) que se disponían (no siempre) en unos sobreeanchos previstos al efecto en el hastial del túnel. También existían cada 25 metros refugios excavados en los hastiales con capacidad para dos personas y con nula utilidad en caso de espera para evacuación.

En la actualidad se proyectan los túneles ferroviarios urbanos (Ramal a Alcobendas) con las siguientes medidas tendentes a facilitar una rápida evacuación:

Alumbrado General. Permanente. Dotado con proyectores de vapor de sodio a baja presión cada 40 m. en el mismo hastial alternando con el hastial contrario.

Alumbrado de Socorro. Compuesto por luminarias fluorescentes con baterías de 1 hora de autonomía mínima. Cada 80 m. Nivel de iluminación superior a 2 lux. Entran en funcionamiento automáticamente al detectarse un descenso superior al 30 % en la tensión del alumbrado normal.

Salidas de emergencia situadas cada 500 m., compuestas de galería horizontal de evacuación y ventilación de 25 m² de sección libre y unos pozos de salida al exterior dotados de escaleras. En superficie se construye un edificio de 100 m² con puertas de salida, de apertura interior libre y exterior bloqueada. El alumbrado normal en estas salidas es con pantallas fluorescentes que se complementa con una instalación de emergencia y señalización.

Superestructura de carril embebido en hormigón y peralte en plano único de forma que toda la sección ferroviaria se convierta en pasillo de evacuación sin trabas.

Mejora de condiciones durante la evacuación: Se consiguen disponiendo ventiladores para la extracción de humos en las salidas de emergencia. Las salidas de humo coinciden físicamente con las de evacuación pero están separadas de éstas por muros estancos de hormigón. La central de ventilación puede usarse también para impulsar



aire pudiendo combinarse, en caso de necesidad, los ventiladores situados en las salidas de emergencia colaterales al punto del incidente. Esta ventilación se complementa con una ventilación longitudinal en régimen de emergencia para una eliminación rápida de humos.

5.2.4.- INTERVENCIÓN DE SERVICIOS PÚBLICOS

La existencia de comunicación entre el tren en situación de emergencia y las estaciones colaterales permite alertar a los servicios públicos con rapidez. Sin embargo existe un gravísimo problema de accesibilidad de dichos servicios a zonas cercanas a la emergencia o al menos a la boca del túnel, debiendo permanecer en las salidas de las estaciones.

En el nuevo Ramal ferroviario a Alcobendas y San Sebastián de los Reyes se ha intentado paliar este problema de la siguiente forma:

Se disponen elevadores hidráulicos en las dos estaciones que están situadas a una distancia inferior a 1 km. de cualquier punto del túnel. Estos elevadores permiten el acceso a los andenes (subterráneos) de una ambulancia o un pequeño coche de bomberos. En cualquier caso para proyectos futuros de túneles urbanos debería estudiarse el acceso directo al túnel desde las posibles zonas a cielo abierto.

Se construye abatible hasta la plataforma de vías la sección de andén enfrentada a los citados elevadores.

La Superestructura de carril embebido en hormigón y peralte en plano único permite la circulación y maniobrabilidad de vehículos no ferroviarios de socorro.

Las salidas de emergencia dispondrán de polea elevadora de camilla y son accesibles (en superficie) a vehículos.

Las estaciones están dotadas de ascensores para personas de movilidad reducida que pueden utilizarse para evacuación de heridos en caso de necesidad.

También en las estaciones se dispone de depósitos de bombeo con reserva de agua para incendios.

La ventilación longitudinal de emergencia se ajusta a las normas AICPR que marcan una velocidad mínima del aire en el túnel de 3 m/s para evitar la creación de turbulencias en los humos y posibilitar la entrada rápida de bomberos.



Se ha proyectado la instalación de equipos de detección de CO y temperatura que determinan el arranque de la ventilación.

Se prevén extintores manuales de incendio cada 50 m. en armarios de cristal. También se dispondrán extintores en las salidas de emergencia. Los armarios estarán señalizados mediante carteles de naturaleza fotoluminiscente.

5.3.- TUNELES FERROVIARIOS NO URBANOS

5.3.1.- ASPECTOS A TENER EN CUENTA.

El tráfico en túneles ferroviarios urbanos es mixto (viajeros o mercancías) con la notable excepción de los corredores de alta velocidad en los que el tráfico es casi exclusivo de viajeros.

Las medidas de seguridad deben atender a los mismos objetivos que en el caso de túneles urbanos con las peculiaridades propias de la ubicación de estos túneles.

La longitud del túnel es determinante a la hora de estudiar posibles soluciones.

La vía única implica problemas adicionales a la hora de reaccionar ante una emergencia.

5.3.2.- DETECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LA EMERGENCIA

Los sistemas de detección e identificación de una situación anómala son los descritos en el caso de túneles urbanos. Existen sin embargo algunas excepciones en la red ferroviaria (Renfe, Feve), de líneas secundarias en las que los sistemas de enclavamiento, señalización y comunicación al ser anticuados no permiten una rápida detección e identificación de la incidencia aunque a medida que se van renovando dichas líneas se va corrigiendo este problema.

5.3.3.- EVACUACIÓN

La evacuación en túneles ferroviarios no urbanos se prevé por aceras dispuestas en los hastiales de los túneles hasta poder acceder al tren de socorro. Este sistema adolece de los siguientes defectos:

Las aceras son estrechas (ancho < 1,0 m.) y con frecuencia están rotas dado que son en realidad la tapa superior de canaletas o cunetas y esta



tapa se debe poder levantar para el mantenimiento de los elementos de comunicación o drenaje.

Al estar junto al hastial en ocasiones la curvatura de éste impide un correcto uso de las aceras.

No en todos los túneles de la red existen dichas aceras.

Aun en el supuesto de que el tren de socorro consiga acercarse al tren en situación de emergencia se trata de una evacuación de cientos de personas, asustadas y muchas de ellas con problemas físicos para desplazarse en un medio desconocido. Por tanto como medio de evacuación las aceras son claramente insuficientes y solo deben contemplarse como sistema de desplazamiento en caso de operaciones de mantenimiento.

De lo anteriormente citado se deduce que en caso de emergencia los viajeros no tienen más remedio que utilizar como vía de escape en un trecho más o menos largo la propia plataforma ferroviaria. El andar por encima del balasto, las traviesas y los carriles presenta problemas y puede dar lugar a caídas e incidentes que dificulten aun más una evacuación en caso de emergencia.

No hay iluminación.

En caso de que el tren de socorro no pueda acceder al interior del túnel el problema se agrava debido al mayor trayecto recorrido y al hecho de que la plataforma ferroviaria a cielo abierto es estrecha y tiene taludes pronunciados. No existen en este caso grandes ventajas de la vía doble sobre la vía única.

5.3.4.- INTERVENCIÓN DE SERVICIOS PÚBLICOS

No existe posibilidad de acceso de vehículos automóviles de neumáticos (ambulancias, bomberos) al interior de un túnel ferroviario no urbano.

Es muy difícil y en la mayoría de los casos imposible el acceso de estos vehículos a las bocas de los túneles.

Es difícil y lento el acceso de estos vehículos a zonas de la plataforma cercanas a las bocas.

El tren de socorro no es un "tren ambulancia" o un "tren de bomberos", es un tren normal.



5.3.5.- POSIBLES SOLUCIONES (TÚNELES NO URBANOS)

Antes de indicar las posibles soluciones a los problemas de evacuación e intervención de servicios públicos hay que hacer hincapié en la bajísima incidencia de los accidentes en túneles ferroviarios no urbanos lo que se debe tener en cuenta antes de plantear métodos que encarezcan estas obras de infraestructura hasta hacerlas inviables.

Por otra parte hay que señalar que dada la escabrosa orografía española, la rigidez de las pendientes ferroviarias, las mayores exigencias de velocidad y comodidad del usuario y el notable avance tecnológico y la gran experiencia adquirida, cada vez van a ser más frecuentes los túneles ferroviarios.

También hay que precisar que la mayor parte de los sistemas aquí apuntados sólo son posibles para proyectos de nuevas líneas.

Algunas de las posibles soluciones cuya necesidad habría que lógicamente estudiar y evaluar en cada caso concreto son las siguientes:

Alumbrado de emergencia. Accionado desde el puesto de mando al detectarse la incidencia.

Vía en placa con plano de peralte continuo. Es un 80 % más cara que la vía tradicional. A cambio permite un mantenimiento más económico, la eliminación de las aceras y los refugios y abarata el drenaje. Puede incluso disminuir costes de ejecución del túnel (menor sección y hormigón de contrabóveda).

En estaciones colaterales a túneles largos (más de 1,0 km.) habría que prever un vagón (plataforma MMQ o similar) cautivo, acondicionado para transporte de UVI móvil y coche de bomberos y habilitar una rampa o andén de acceso de vehículos a dicho vagón.

Sobreancho o paseo de 3 m. a cada lado de la plataforma ferroviaria en una longitud de 40 m. en las zona adyacente a las bocas de todos los túneles.

Estudio previo y concreto para cada línea y establecimiento de métodos de "comunicación con" y "acceso de" vehículos de socorro o protección civil aéreos (helicópteros). La construcción de helipuertos "de campaña" es sencilla



5.4.- CONCLUSIONES

- A) Rápida detección de la situación de emergencia.
- B) Facilidad en la identificación y evaluación de ésta.
- C) Buenas posibilidades de reacción y aviso.
- D) Dificultades de evacuación.
- E) Graves problemas de acceso de servicios convencionales de rescate.
- F) Pequeña incidencia de situaciones graves de emergencia en tráficos ferroviarios.
- G) Los aspectos A, B y C se mejoran continuamente.
- H) Para los aspectos D y E existen soluciones aplicables en el proyecto y construcción de las nuevas líneas. Teniendo en cuenta el punto F.
- I) Es muy difícil solucionar los aspectos D y E en las líneas actualmente en servicio pero se pueden paliar en parte los problemas existentes.

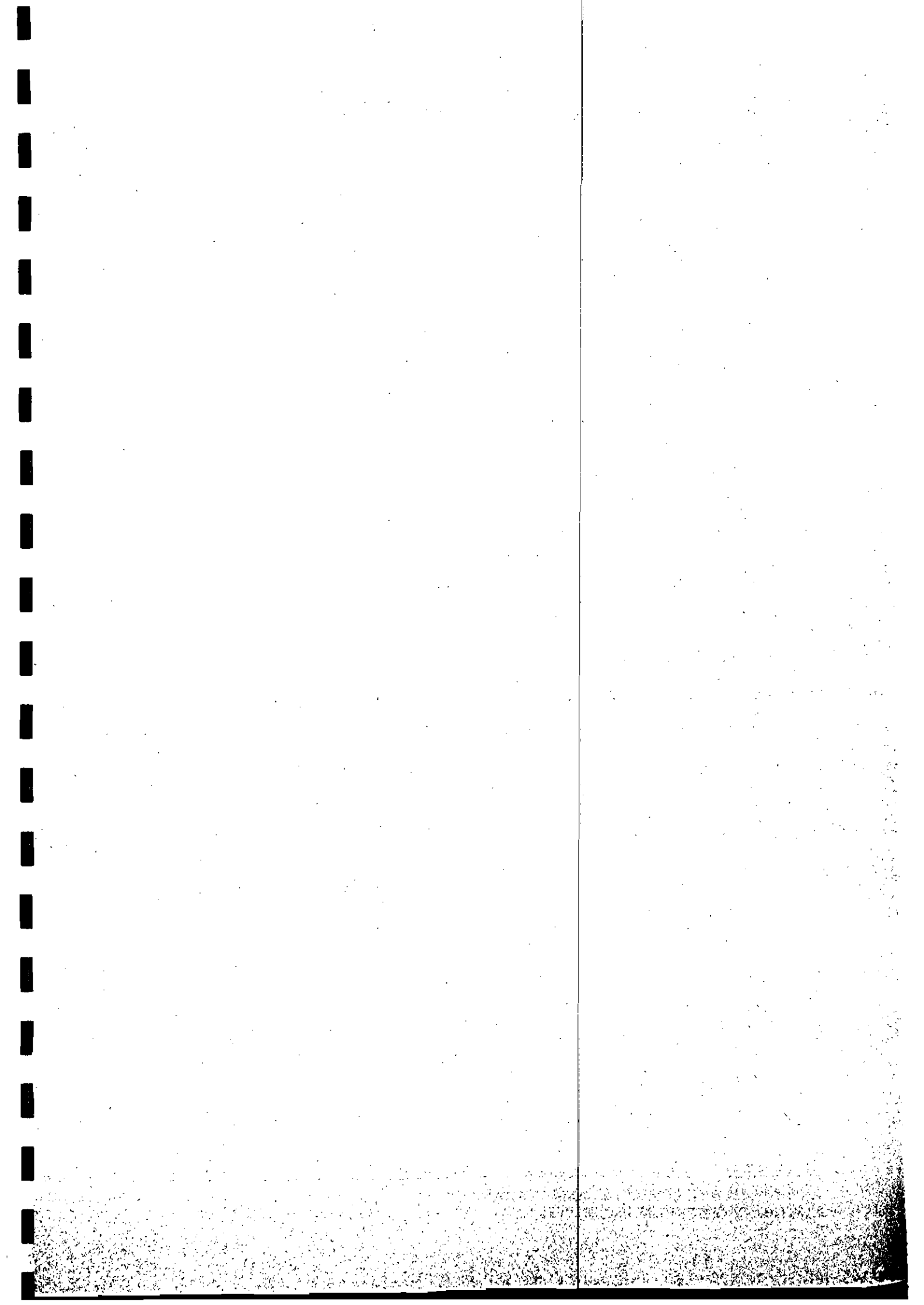


**EXPLOTACIÓN DE LOS
TÚNELES DE GUADARRAMA
CONTROL Y GESTIÓN DE
INCIDENTES**

JUAN ZAMORANO MARTÍN

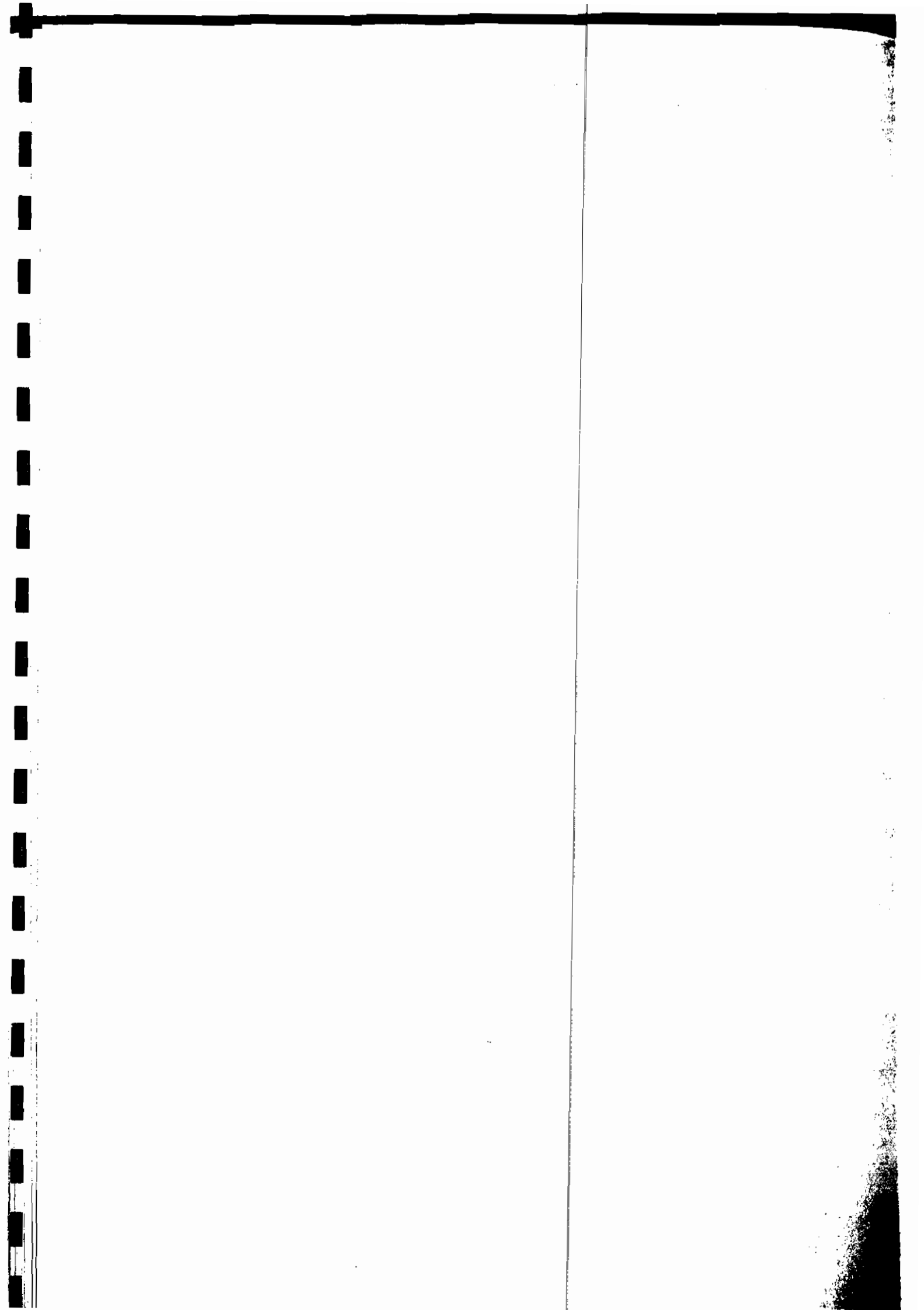
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE
VIABILIDAD AUTOPISTA A-6

IBERICA DE AUTOPISTAS (C.E.S.A.)





6.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS INSTALACIONES. INTRODUCCIÓN	3
6.1.1.- DESCRIPCIÓN DE LOS TÚNELES	3
6.1.1.1.- TÚNEL I (<i>Sentido Madrid</i>).....	3
6.1.1.2.- TÚNEL II (<i>Sentido Coruña</i>).....	3
6.1.1.3.- CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LOS TÚNELES.....	4
6.2.- FACTORES RELATIVOS A LA SEGURIDAD EN LOS TÚNELES.....	4
6.2.1.- SISTEMA DE VENTILACIÓN.....	4
6.2.2.1.- VENTILACIÓN TÚNEL I - SENTIDO MADRID	4
6.2.2.2.- VENTILACIÓN TÚNEL II - SENTIDO CORUÑA	5
6.2.3.- SISTEMA CONTROL DE LA VENTILACIÓN.....	5
6.2.4.- SISTEMA DE ILUMINACIÓN.....	6
6.2.5.- SISTEMA DE POSTES S.O.S. O DE AUXILIO	7
6.2.6.- SISTEMA DE SEMÁFOROS.....	7
6.2.7.- SISTEMA DE SEÑALIZACIÓN VARIABLE	7
6.2.8.- ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA.....	8
6.2.9.- DETECTOR AUTOMÁTICO DE INCIDENTES.....	8
6.2.10.- CIRCUITO CERRADO DE TELEVISIÓN	9
6.2.11.- COMUNICACIONES	9
6.3.- EMERGENCIAS EN LOS TÚNELES Y PLAN DE ACTUACIÓN	10
6.3.1.- INCENDIOS EN EL INTERIOR DEL TÚNEL Y PLAN DE ACTUACIÓN.....	10
6.3.2.- SINIESTROS CON MERCANCIAS PELIGROSAS	11
6.3.3.- SINIESTRALIDAD EN LOS TÚNELES	11
6.3.3.1.-CORTES DE ACCESO AL TRÁFICO EN LOS TUNELES.....	12
6.3.3.1.1.- <i>Problemática que plantea el Túnel I:</i>	12
6.3.3.1.2.- CAUSAS MÁS FRECUENTES DE CORTE	12
6.4. CONCLUSIONES:	13





6.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS INSTALACIONES. INTRODUCCIÓN

Ibérica de Autopistas, C.E.S.A. IBERPISTAS, S.A, es la Concesionaria del Estado para la construcción, conservación y explotación de la Autopista de Peaje A-6 VILLALBA - ADANERO, con un trazado total de 70 Km.

La ubicación de esta Autopista en una zona montañosa, la Sierra del Guadarrama, obligó a la construcción de dos Túneles unidireccionales, que atraviesan el macizo montañoso.

6.1.1.- DESCRIPCIÓN DE LOS TÚNELES

6.1.1.1.- TÚNEL I (Sentido Madrid)

Es el más antiguo, se inauguró en el año 1963. Su longitud es de 2.870 m., siendo prácticamente rectilíneo a excepción de sus bocas. Su anchura es de 10 m., posee un falso techo y una limitación de gálibo a 4,25m., dos carriles de 3,50 m., un arcén derecho de 1,50 m., uno izquierdo de 0,50 m., y aceras de 0,50 m. en ambos hastiales para labores de mantenimiento de los mismos.

6.1.1.2.- TÚNEL II (Sentido Coruña)

La inauguración data del año 1.972. Su longitud es de 3.340 m., los elevados radios de curvatura hacen que la visibilidad sea buena, pese a su trazado en curva. La anchura es de 11,50 m., posee dos carriles de 3,50 m., arcén derecho de 2,50 m., arcén izquierdo de 1 m. y dos aceras de 0,50 m.

La diferencia de anchura entre ambos túneles, va a ser muy importante en la gestión de incidencias, siendo diferentes las normas de actuación, en función de donde se haya producido el hecho.

**6.1.1.3.- CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LOS TÚNELES**

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LOS TÚNELES DEL GUADARRAMA		
	TÚNEL I	TÚNEL II
LONGITUD	2.870 m.	3.340 m.
ANCHURA	10 m.	11,50 m.
ARCEN DERECHO	1,50 m.	2,50 m.
ARCEN IZQUIERDO	0,50 m.	1 m.
CARRILES	3,50 m.	3,50 m.
ACERAS	0,50 m.	0,50 m.
COTA BOCA NORTE	1.292 m.	1.258 m.
COTA BOCA SUR	1.195 m.	1.228 m.
PENDIENTE	-3,46%	0,89%
ANCHURA DE CIRCULACIÓN	9,00 m.	10,50 m.
RADIO DE BOVEDA	5,10 m.	6,00 m.
ALTURA / EJE	7,78 m.	8,40 m.
GÁLIBO	4,25 m.	4,35 m.

6.2.- FACTORES RELATIVOS A LA SEGURIDAD EN LOS TÚNELES**6.2.1.- SISTEMA DE VENTILACIÓN**

Regulado por normas de régimen interno que determinan los niveles admisibles de opacidad (visibilidad), y CO, así como su utilización en emergencias, el sistema de ventilación marca una nueva diferencia en la gestión de ambos túneles.

6.2.2.1.- VENTILACIÓN TÚNEL I - SENTIDO MADRID

Dispone de una ventilación forzada "semilongitudinal por falso techo". Cada una de las bocas del Túnel, cuenta con dos ventiladores, cuya función es aspirar el aire limpio del exterior, introduciéndolo a través de unas toberas, desplazando así el aire viciado del interior del Túnel, haciéndolo salir por ambas bocas.

Los ventiladores son de 100 C.V., suministrando un caudal máximo de aire de 100m³/ seg. Cada uno, lo que nos da 12 renovaciones totales por hora.

La ventilación natural es buena, al ser el túnel prácticamente recto, a excepción de sus bocas, por lo que en condiciones normales de tráfico no es necesaria la



ventilación forzada, a excepción de la limpieza de los gases acumulados en el falso techo.

6.2.2.2.- VENTILACIÓN TÚNEL II - SENTIDO CORUÑA

Dispone de una ventilación semitransversal, dividida en cuatro zonas que coinciden con cada cuarto de Túnel. En este túnel la corriente natural es mínima, lo que obliga a mantener siempre en marcha algunos ventiladores.

El número total de ventiladores es de 14, repartidos en tres Estaciones de ventilación, 3 ventiladores en cada una de las bocas del Túnel y 8 en el centro del Túnel. Los ventiladores pueden trabajar a dos velocidades 750 ó 1500 r.p.m., la inclinación de los álabes es variable, por lo que la flexibilidad es muy grande, pudiéndose obtener en cada momento el caudal de aire necesario.

La galería situada en el falso techo, está dividida longitudinalmente por un tabique, de forma que quedan dos conductos, uno para el aire fresco y otro para el viciado.

Los ventiladores aspiran aire limpio del exterior, que es introducido al interior del túnel a través de las toberas situadas en el falso techo, atraviesa transversalmente el túnel y es aspirado a través de toberas situadas en el otro hastial por las que entra en la galería de aire viciado, siendo conducido a las estaciones de ventilación y saliendo al exterior a través de la chimenea centra y de los conductos pertinentes en las bocas.

Las potencias máximas absorbidas son de 125 C.V. a 750 r.p.m. y de 200 a 1500 y los caudales de aire correspondientes son de 80 y 160 m³. seg.

El resto de instalaciones es similar en ambos túneles.

6.2.3.- SISTEMA CONTROL DE LA VENTILACIÓN

Cada estación de ventilación dispone de medidores de Opacidad, que nos permiten conocer en cada momento el grado de visibilidad existente en el interior del túnel y medidores o detectores de Monóxido de Carbono.

Contamos con dos niveles de alarmas, el primero fijado a 50 p.p.m., de CO. y 30% de reducción de visibilidad y el segundo en 150 p.p.m. y 80% respectivamente.

De alcanzarse en alguna zona el 1º nivel de alarma, y de mantenerse de forma continua un tiempo superior a 1 minuto, automáticamente los ventiladores arrancarían a 750 r.p.m., y se ajustará la posición de los álabes, para dar el caudal programado.



Este caudal va en función de la contaminación medida, de forma que irá aumentando gradualmente si los niveles de opacidad y CO. siguen creciendo.

De alcanzarse el 2º nivel de alarma, los ventiladores pasarían automáticamente a 1500 r.p.m. y en el caso de mantenerse el nivel de alarma más de cinco minutos, se procedería al corte de tráfico de acceso del túnel.

6.2.4.- SISTEMA DE ILUMINACIÓN

La Iluminación en el interior de los túneles tiene por objeto asegurar el mantenimiento de la percepción visual durante todo el recorrido.

Factores que influyen en la iluminación:

Adaptación temporal

Adaptación espacial

Situación geográfica. Condiciones atmosféricas

Densidad del tráfico

El sistema de iluminación de los túneles se ha modernizado en el año 1991, sustituyendo las luminarias originales por otras, que albergan dos lamparas, de 55 W. y de 35 W. de vapor de sodio de baja presión, permitiendo alcanzar tres escalones de iluminación con un factor de uniformidad longitudinal medio por encima de 0,70.

NIVELES DE ILUMINACIÓN CUERPO TÚNEL			
	LAMPARAS	ILUMINACIÓN OBTENIDA	
	ENCENDIDAS	TÚNEL I	TÚNEL II
Menos 500 veh./h.	35 W	45 lux	30 lux
Entre 500 y 1.500 veh./h.	55 W	95 lux	80 lux
Más de 1.500 veh./h.	35 + 55 W	135 lux	105 lux

Las luminarias están situadas cada 10 m. en ambos hastiales, colocadas al tresbolillo y a 4,20 m. de altura, con inclinación adecuada para obtener el máximo rendimiento.

Los niveles de iluminación se establecen en función del tráfico, variando entre los 40 lux en nivel mínimo nocturno y los 120 lux con los niveles máximos de tráfico, como valores medios del conjunto de ambos túneles.



Para adaptar la visión del ojo humano al pasar de un espacio abierto a otro cerrado, contamos con una iluminación de refuerzo. Se dispone de cinco tramos de longitudes de 80 m. variables en luminosidad en función de la iluminación exterior, iluminación exterior alta (días soleados) se anula el quinto tramo que se suma al cuerpo del túnel, en el caso de iluminación exterior media o baja (días nublados). La regulación funciona por células fotoeléctricas, si bien puede ser accionada manualmente.

Los niveles de iluminación para cada uno de los Túneles, quedan recogidos en cuadros adjuntos, apreciándose que la intensidad de refuerzo de boca es mayor en el Túnel II por su orientación Sur frente a la orientación Norte del Túnel I. El nivel de iluminación en la entrada va disminuyendo en cada tramo escalonadamente hasta alcanzar la zona interior. Existe otro nivel para días nublados que de forma aproximada es poco mayor de la mitad del anterior.

Durante las horas nocturnas se anula el alumbrado de refuerzo, quedando la zona de transición con el mismo alumbrado que la interior, encendiéndose el alumbrado de la zona exterior con un nivel de iluminación de 25 lux.

Existen también puntos de luz, para el alumbrado de las estaciones de ventilación, conductos de aire fresco sobre el falso techo y para efectuar los trabajos de mantenimiento.

6.2.5.- SISTEMA DE POSTES S.O.S. O DE AUXILIO

Permite establecer comunicación entre el Centro de Control y el usuario, que ha pulsado en demanda de auxilio. Están situados cada 115 m. en armarios con extintor de incendios, disponiendo además de un sistema de megafonía.

6.2.6.- SISTEMA DE SEMÁFOROS

Complementariamente, existen 15 semáforos con luz roja y ámbar, y otros 15, enfrentados a los anteriores, con luz ámbar solamente, mediante los que se regula la circulación de acuerdo a las necesidades. Se cuenta con señales luminosas de limitación de velocidad e indicativas de condiciones meteorológicas a la salida de los túneles.

Existen también semáforos en los accesos a los túneles.

6.2.7.- SISTEMA DE SEÑALIZACIÓN VARIABLE

Este sistema ofrece de manera clara y concisa información al conductor en tiempo real, comandada desde un ordenador ubicado en el centro de control.



Disponemos de 4 paneles de señalización variable en la zona de acceso al Peaje de San Rafael y al Túnel I.

Se utilizan pictogramas y mensajes alfanuméricos indicativos de retenciones, obras, condiciones climatológicas, accidente, informando en lo posible de motivos y de tiempos de espera.

Los paneles son de leds, con una parte gráfica y otra alfanumérica de 3 filas de 12 caracteres de 410 mm. de altura. Además se han programado planes de actuación para poder ejecutar secuencias completas con una sola orden, tales como:

Corte de Túnel por obstáculo, corte de Túnel por retención, corte de carril izquierdo,...

Desde el ordenador situado en el Centro de Control se dirigen además de la señalización variable, los semáforos de los túneles y se recogen alarmas de gálibo y fallos de suministro de energía.

Disponemos de históricos de comandos ejecutados, incidencias del sistema, alarmas recibidas y cortes de túnel realizados.

6.2.8.- ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA

La energía eléctrica es suministrada por dos compañías a seis centros de transformación dispuestos por parejas en las estaciones de ventilación.

La potencia total instalada es de 930 KVA en el Túnel I y de 3600 en el Túnel II.

La mitad de los ventiladores de cada túnel están alimentados por una compañía diferente, lo que hace muy difícil un fallo total de suministro.

De la misma forma la iluminación de cada hastial está alimentada por compañías diferentes, por lo que en caso de fallo de una de ellas, el túnel seguiría iluminado.

Todos los sistemas de seguridad (Poste S.O.S., C.C.T.V., medidores de CO y Opacidad ...), disponen de una conmutación automática entre ambas compañías, y en el caso improbable de que fallaran ambas, quedarían alimentados por un grupo electrógeno.

6.2.9.- DETECTOR AUTOMÁTICO DE INCIDENTES

Disponemos de dos tipos de detección automática de incidentes:



Mediante algoritmos que tratan los datos de tráfico suministrados por los aforos de tráfico, y que permiten detectar incidentes que afecte de forma importante al flujo de tráfico.

Mediante la incorporación de tarjetas de tratamiento de imagen al circuito cerrado de televisión que detectan incidentes puntuales, un vehículo detenido, circulando a baja velocidad o en sentido inverso, lo que es muy importante en el caso concreto de los túneles.

Podría hacerse innecesaria la instalación de detección de incendios en túneles, siempre que se acepte que cuando hay un incendio en el túnel hay un vehículo detenido.

6.2.10.- CIRCUITO CERRADO DE TELEVISIÓN

Aporta dos funciones esenciales: el control del tráfico y la rápida actuación en caso de accidentes.

Este sistema de televisión en circuito cerrado nos proporciona imágenes a tiempo real, con cobertura total de ambos túneles y de zonas del exterior de especial interés (Peajes, viaductos...)

El número total de cámaras es de 48, 15 en el interior del Túnel I, 18 en el Túnel II y 15 en el exterior.

Las cámaras permiten la confirmación visual de un incidente y la puesta en marcha de un plan de actuación rápido.

Las cámaras se ajustan de forma automática a los niveles de luz existentes.

Las imágenes se transmiten por fibra óptica.

La red multipunto permite enclavar cualquier cámara en cualquiera de los 13 monitores del centro de control.

El control de alarmas conectadas a la matriz del vídeo, permite enclavar de forma automática la cámara en el caso de cualquier incidente, grabándose éste.(Postes S.O.S., gálibos, apertura de puertas...)

6.2.11.- COMUNICACIONES

Las comunicaciones están aseguradas en ambos túneles mediante la instalación de un cable radiante de telefonía móvil, y con la red de postes S.O.S. que, como ya se indicó, disponen de megafonía para transmitir instrucciones.



6.3.- EMERGENCIAS EN LOS TÚNELES Y PLAN DE ACTUACIÓN

Se cuenta con un "**Plan de Emergencia e Intervención**", que fija los riesgos potenciales, los recursos disponibles, y los procedimientos de intervención para los distintos incidentes que puedan surgir en la Autopista y de forma específica en los Túneles en función del nivel de Emergencia. Además de contar con un "**Equipó Permanente de Emergencias**" (E.P.E.).

Diferenciando entre 4 niveles de Emergencia:

Nivel 1: Restricción de la circulación sin corte total.

Nivel 2: Restricción de la circulación con cortes totales entre los 15 y los 30', con fases de circulación abierta, retenciones e intervención de medios externos.

Nivel 3: Restricción de la circulación con cortes totales superiores a los 30', retenciones e intervención de medios externos.

Nivel 4: Posibilidad de corte total en ambos sentidos, por tiempo superior a 15', el consiguiente desvío de tráfico y la intervención de medios externos.

6.3.1.- INCENDIOS EN EL INTERIOR DEL TÚNEL Y PLAN DE ACTUACIÓN

Corte de tráfico de acceso al Túnel, con semáforos en rojo e interiores en ámbar intermitentes.

Aviso al Equipo contra incendios. El acceso al Túnel II se efectuará por boca Norte, por el arcén derecho y a escasa velocidad (40 km./h.)

Conexión del alumbrado máximo en todo el Túnel.

Localización del incendio a través de Circuito cerrado de televisión.

Aplicación de la ficha en función del nivel de emergencia.

Aviso a los Bomberos.

Aviso a la Guardia Civil de Trafico.

No entorpecer el acceso a los vehículos de emergencia.



Conexión de la ventilación en función del Túnel y del lugar del incendio.

Garantizar una evacuación rápida.

6.3.2.- SINIESTROS CON MERCANCIAS PELIGROSAS

Corte de tráfico de acceso al Túnel, con semáforos en rojo e interiores en ámbar intermitentes.

Aviso al Equipo contra incendios. El acceso al Túnel II se efectuará por boca Norte, por el arcén derecho y a escasa velocidad (40 km./h.)

Conexión del alumbrado máximo en todo el Túnel.

Localización del siniestro a través de Circuito cerrado de televisión.

Numeración del panel naranja y etiqueta de peligro.

Tipo de emergencia (avería, derrame, incendio o explosión).

Aplicación de la ficha de emergencia en función del nivel.

Aviso a los Bomberos

Aviso a la Guardia civil de Tráfico.

No entorpecer el acceso a los vehículos de emergencia.

Conexión de la ventilación en función del Túnel y del lugar del incendio.

Garantizar una evacuación rápida.

6.3.3.- SINIESTRALIDAD EN LOS TÚNELES

Parece aceptado que la cantidad de accidentes que se registran en el interior de los túneles, es menor que los producidos a cielo abierto. Pudiendo ser las causas las siguientes:

Se encuentra protegidos de las condiciones meteorológicas adversas.



Ausencia de accesos.

Se suele mantener la distancia de seguridad debido a la iluminación artificial.

Mayor sensación de peligro, que implica una mayor atención y una disminución de la velocidad.

Los siniestros en los Túneles podemos clasificarlos en incidentes, accidentes y desastres, siendo la actuación fundamental de la Explotación impedir que la incidencia se convierta en accidente y el accidente en desastre, mediante la correcta utilización de las instalaciones descritas en el inicio de la ponencia y del equipo humano que hace posible su correcto funcionamiento.

6.3.3.1.-CORTES DE ACCESO AL TRÁFICO EN LOS TUNELES

Ante una determinada incidencia, el corte de tráfico de acceso al túnel, es una importante medida a tomar a efectos de seguridad, hasta la restitución de las condiciones normales de circulación, evitando así encadenar otras incidencias más graves.

6.3.3.1.1.- Problemática que plantea el Túnel I:

Siendo las causas que afectan a la circulación en ambos túneles comunes, distinta es la actuación en cada uno de ellos, fundamentalmente debido a sus características geométricas y de entorno.

Ambos túneles poseen dos carriles de circulación de 3,50 m., sin embargo la ausencia de arcén suficiente en el Túnel I, hace que cualquier incidencia que se produzca en su interior, determine de manera inmediata el corte de acceso al mismo, no restableciéndose la circulación hasta no ser resuelta la incidencia, siendo esto motivo de la diferencia de cortes en ambos túneles.

6.3.3.1.2.- CAUSAS MÁS FRECUENTES DE CORTE

La causa más habitual de accidentes en ambos túneles, es el **alcance de turismo a camión**, con una frecuencia mayor en el túnel I, en el que la pendiente favorable en el sentido del tráfico, ocasiona diferencias importantes de velocidad entre los vehículos ligeros y pesados, al mantener los primeros su velocidad y los segundos la retienen para afrontar la bajada casi permanente de unos 6 Km.

Esta diferencia de velocidad adquiere gran importancia en las operaciones salida y retorno, en las que la composición de tráfico, más ó menos pesados, puede ser causa determinante de la formación de retenciones y de peligrosos movimientos



de acordeón, con espacios libres entre camiones en carril derecho y acumulación de vehículos en el izquierdo.

Podemos hablar de dos motivos fundamentales de corte:

Por Incidentes (accidentes, averías, objetos en calzada, circunstancias climatológicas...)

Por Retenciones.

6.4. CONCLUSIONES:

Se han descritos los sistemas de que se dispone en los Túneles del Guadarrama para la gestión del tráfico e incidencias.

Es importante destacar que todos estos medios resultarían menos eficaces sin la existencia de un operador adecuado, por lo que nuestra Explotación ha fijado unos criterios de formación estrictos, así como la permanente revisión de los procedimientos, en función del incremento de sistemas de control, actualización de normativa, y la experiencia recogida de la intervención en los distintos incidentes.



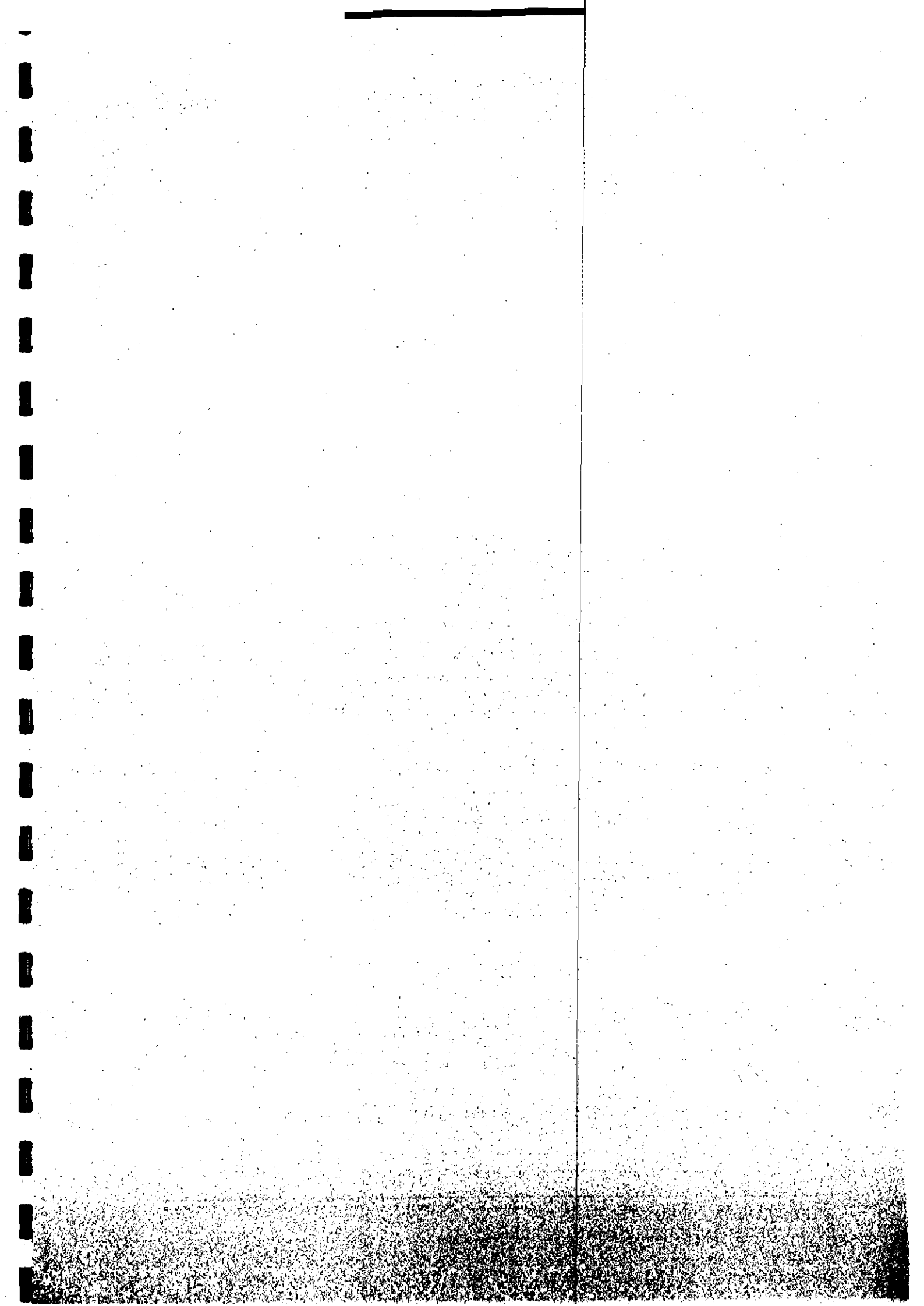


**Explotación de los túneles de la
Autopista Campomanes –
León.**

**Ventajas y desventajas de los
sistemas de ventilación.
Medidas de seguridad y
control en la Autopista
Campomanes - León.**

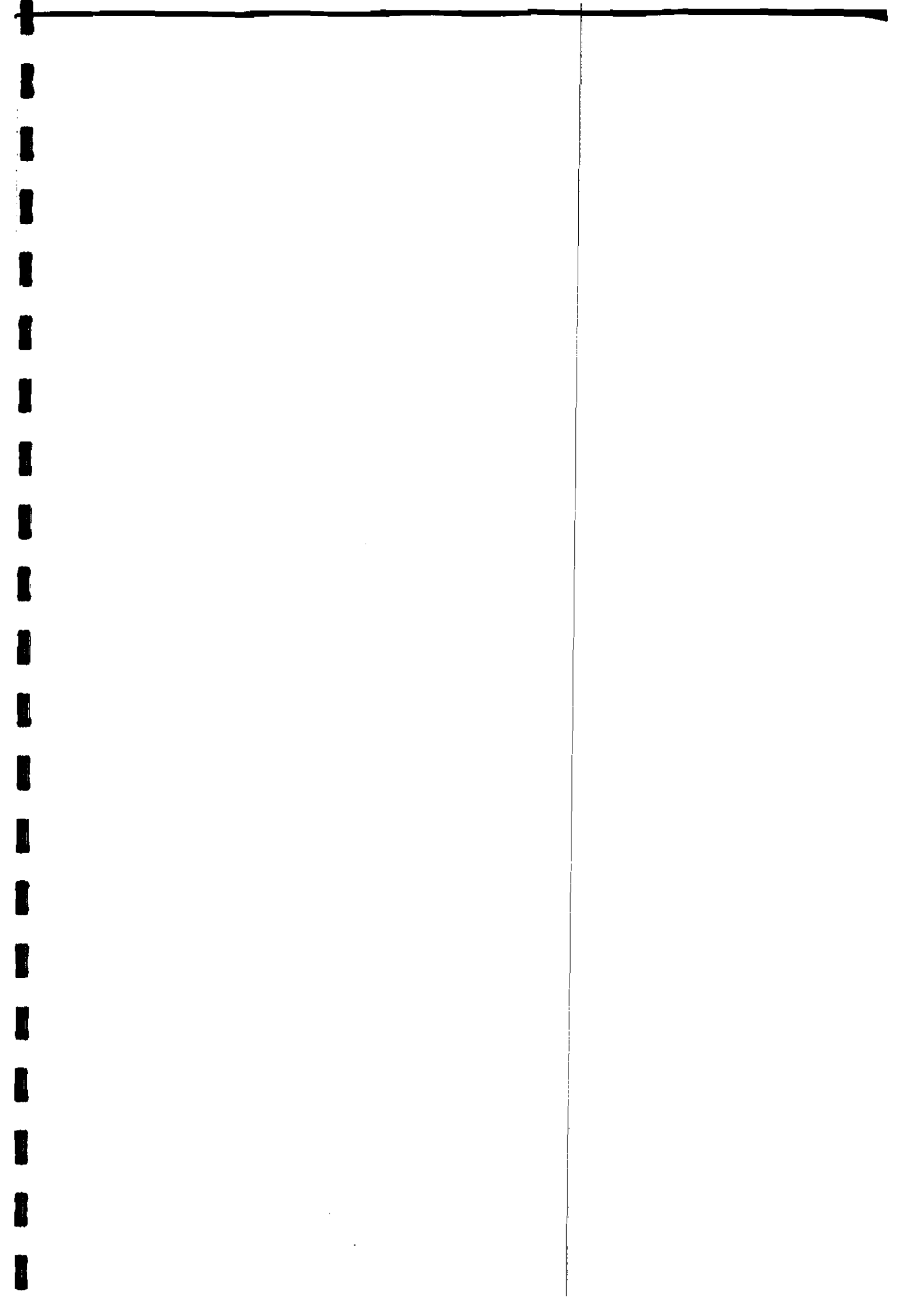
JOSÉ RAMÓN ALVAREZ-HORNIA SUAREZ

JEFE DE VIABILIDAD DE LA AUTOPISTA
CAMPOMANES-LEÓN



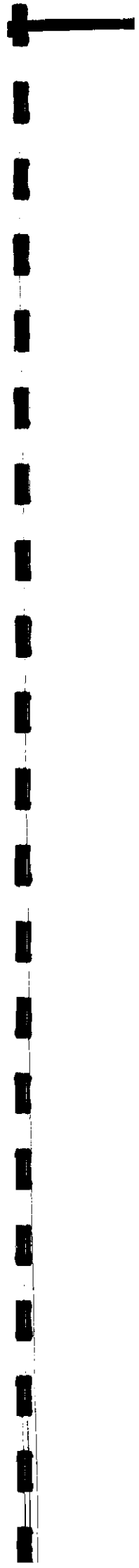


7.1 INTRODUCCIÓN.....	1
7.2 SISTEMAS DE VENTILACIÓN.....	2
7.2.1 VENTILACIÓN NATURAL.....	2
7.2.2 VENTILACIÓN LONGITUDINAL.....	2
7.2.3 VENTILACIÓN TRANSVERSAL.....	3
7.2.4 VENTILACIÓN SEMI-TRANSVERSAL.....	3
7.2.5 VENTILACIÓN PSEUDO-TRANSVERSAL.....	3
7.3 SOLUCIONES ADOPTADAS EN LA AUTOPISTA CAMPOMANES – LEÓN.....	4
7.3.1 CAMBIO TECNOLÓGICO.....	8
7.3.1.1 <i>Diseño y terminación de la obra civil.....</i>	<i>9</i>
7.3.1.2 <i>Cálculo aerodinámico de los ventiladores.....</i>	<i>10</i>
7.3.1.3 <i>Emisión de gases de vehículos.....</i>	<i>10</i>
7.3.1.4 <i>Prospectiva de fabricación de vehículos.....</i>	<i>11</i>
7.3.1.5 <i>Rejuvenecimiento del parque automovilístico.....</i>	<i>11</i>
7.3.1.6 <i>Normativa del Ministerio de Industria mediante la ITV.....</i>	<i>11</i>
7.4 EXPERIENCIA ACUMULADA.....	12
7.4.1 ASPECTO DE SEGURIDAD.....	13
7.4.2 ASPECTO SUBJETIVO.....	13
7.4.3 ASPECTO ECONÓMICO.....	13
7.5 CONDICIONES GENERALES QUE DEBE CUMPLIR CUALQUIER SISTEMA DE VENTILACIÓN.....	15
7.6 SEGURIDAD FISIOLÓGICA.....	15
7.7 SEGURIDAD EN CASO DE INCENDIO.....	22
7.8 LA SEGURIDAD EN LOS PARÁMETROS.....	23
7.8.1 LÍMITE DE CONCENTRACIÓN DE MONÓXIDO DE CARBONO.....	23
7.8.2 LÍMITE DE OPACIDAD.....	23
7.8.3 SEGURIDAD SUBJETIVA.....	24
7.9 MEDIDAS DE SEGURIDAD EN LOS TÚNELES DE LA AUTOPISTA CAMPOMANES-LEÓN.....	24
7.10 SISTEMA DE POSTES DE AUXILIO.....	25
7.10.1 SISTEMA DE CONTROL DE INSTALACIONES.....	25
7.10.2 RED SEMAFÓRICA.....	25
7.10.3 CIRCUITO CERRADO DE TELEVISIÓN.....	25
7.10.4 RADIOTELEFONÍA.....	26
7.10.5 TELEFONÍA MÓVIL.....	26
7.10.6 GRUPOS ELECTRÓGENOS.....	26
7.10.7 MEDIDAS DE SEGURIDAD ADICIONALES EN LOS TÚNELES DE EL NEGRÓN.....	27
7.11 SISTEMA DE DETECCIÓN DE INCENDIOS INFORMATIZADO.....	27
7.12 SISTEMA DE DETECCIÓN DE INCIDENCIAS POR VISIÓN.....	27
7.13 OTRAS MEDIDAS DE SEGURIDAD.....	28





7.13.1 GALERIAS DE COMUNICACION Y PASOS DE MEDIANA.....	28
7.13.2 PANELES DE SEÑALIZACIÓN VARIABLE.....	28
7.13.3 ACOMETIDA DE ENERGIA ELÉCTRICA.....	28
7.13.4 OTRAS MEDIDAS DE CONTROL.....	28
7.13.5 EQUIPAMIENTO.....	29





7.1 INTRODUCCIÓN.

La autopista Campomanes – León, de 86 Kms. de longitud, está considerada como autopista de "alta montaña" al menos en su parte central, puesto que una gran parte de su trazado discurre por cotas superiores a los 1.100 m de altitud, atravesando la Cornisa Cantábrica con cotas superiores a los 2.200 m de altitud.

Esto hace que la Autopista tenga que atravesarlas en forma de túneles, no solo los picos de cotas altas, sino otros menores a lo largo del macizo montañoso.

Así pues la Autopista tiene una longitud total en régimen de túneles de 16.927 m, todos unidireccionales distribuidos entre los siguientes túneles:

Entrerregueras

Pando

Vegaviesga

El Negrón

Oblanca

Cosera

Barrios

Dato importante a reseñar es que esta Autopista, que pone en comunicación Asturias con Castilla-León, pasa de una cota de 300 m sobre el nivel del mar, que es la altura de Campomanes y en general la altura media de la zona central, a otra cota de 1.222 m en la boca sur del túnel de El Negrón.

Hay que tener en cuenta que la parte alta de la meseta castellana-leonesa, tiene una cota media superior a los 1.100 m de altura.

En estas condiciones de altitud en la campaña invernal, las nieves pueden ser frecuentes y las temperaturas mínimas inferiores a cero grados en un período que oscila entre cuatro y seis meses.

Por todo lo antes dicho y debido al gran porcentaje de vehículos pesados y no pesados tipo diesel, en la explotación de los túneles de carretera, sobre todo cuando