

AUSCULTACION DE TUNELES

Rafael Romero. Ingeniero de Minas.¹
Mario Peláez. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos²

El presente artículo expone los trabajos de auscultación de dos túneles en el puerto de Pajares (F.C.C. León-Gijón), finalizados en diciembre de 1991. En estos trabajos se utilizaron diversos métodos geofísicos, analizando ventajas e inconvenientes, con el fin de estudiar una metodología que pudiera aplicarse de forma rápida y eficaz en el futuro. En este artículo se incide prioritariamente en los métodos geofísicos aplicados, si bien el trabajo de referencia se finalizó con una serie de conclusiones y recomendaciones de actuación en los túneles estudiados.

Objeto del estudio

El objetivo fundamental del estudio fue poner a punto una metodología de actuación en los trabajos de auscultación de túneles ferroviarios existentes.

Dicha metodología pretende ajustar los trabajos propiamente de auscultación, mediante métodos no destructivos, con los previos de preparación y los posteriores de interpretación, análisis y elaboración de conclusiones.

En un tema complejo como es el comportamiento del terreno actuando sobre estructuras antiguas, y por tanto desconocidas en muchas de sus características, la auscultación no deberá nunca hacerse en forma aislada; deberá ser una herramienta eficaz en manos del ingeniero que, junto a otras informaciones como: la inspección visual, la geología, la experiencia en zonas similares, etc., le permita detectar zonas potencialmente conflictivas y elaborar los proyectos de reconstrucción adecuados al problema concreto de cada túnel.

Con este enfoque se realizó el trabajo; se hizo un minucioso estudio de dos túneles, aplicando diversos métodos geofísicos, con el fin de poder obtener el máximo de información.

El trabajo se desarrolló siguiendo las etapas siguientes:

- Estudio de información existente.
- Estudio geológico de campo.
- Inspección visual de los túneles.

En un tema complejo como es el comportamiento del terreno actuando sobre estructuras antiguas, y por tanto desconocidas en muchas de sus características, la auscultación no deberá nunca hacerse en forma aislada.

- Trabajos Geofísicos.
- Conclusiones sobre el estado de los túneles.
- Recomendaciones de actuación.

Trabajos geofísicos

Se utilizaron los cuatro métodos geofísicos siguientes:

- Radiación gamma natural.
- Resistividad eléctrica.
- Termografía infrarrojos.
- Georadar.

Otras dos técnicas consideradas en un principio, como ultrasonidos y resistividad electromagnética, no fueron utilizadas finalmente por considerarlas poco apropiadas tras las primeras mediciones realizadas en los túneles.

Radiación gamma natural

El método de trabajo consiste en medir la radiación gamma natural en cuentas por segundo.

El método es bastante rápido, la duración media de cada medición es de 15 a 20 segundos.

El fundamento físico de este método consiste en el hecho de que cada material emite una radiación en función, entre otras cosas, del contenido de elementos radiactivos como: K, Th, U.

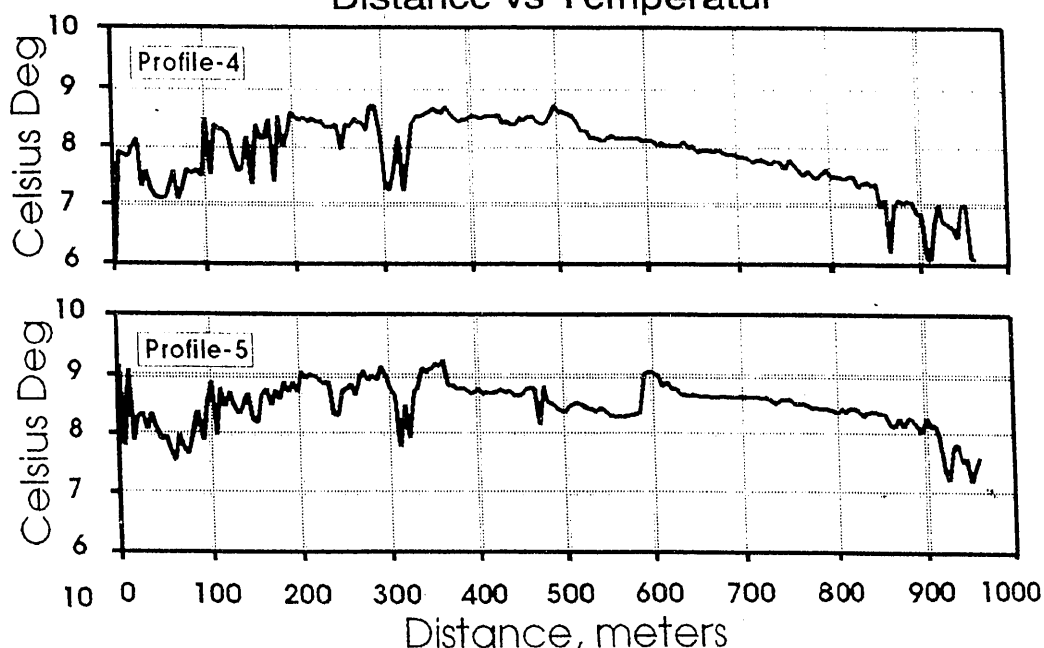
El contenido de estos elementos depende, en general, de la cantidad y tipo de los minerales arcillosos presentes en los materiales.

El objetivo buscado con la utilización de esta técnica geofísica es la detección de unidades lito-

¹ Renfe. ² Geoconsult.

GeoThermal Profiling, RENFE Tunnel #16

Distance vs Temperatur



lógicas de diferente naturaleza detrás del revestimiento, así como la detección de los cambios de espesores en el revestimiento.

Resistividades eléctricas

Esta técnica consiste en situar cuatro electrodos en línea, espaciados 0,6 m. y en contacto con el revestimiento. Mediante los dos electrodos extremos se hace pasar una corriente continua a través del revestimiento y, con los dos electrodos centrales, se mide la diferencia de potencial.

De los valores obtenidos de la diferencia de potencial y de la intensidad de corriente, se calculan los valores de las resistividades aparentes.

Los cambios bruscos en las resistividades indican cambios importantes en los materiales o en el medio que los rodean y pueden poner de manifiesto la presencia de huecos detrás del revestimiento, de zonas metálicas como armaduras o cerchas y pueden manifestar también cambios en el tipo y espesor del revestimiento.

Este método acusa especialmente la variación de los contenidos de agua detrás del revestimiento. Rocas y revestimientos secos permiten el paso de la corriente eléctrica con intensidades pequeñas, mientras que rocas y revestimientos con contenidos de agua significativos, especialmente agua con contenido en sales, permiten el paso de la corriente eléctrica con facilidad, dando valores bajos en la resistividad calculada.

Asimismo, revestimientos con un alto grado de alteración como consecuencia de la acción del

agua, darán también, presumiblemente, valores bajos de la resistividad.

Las mediciones se efectuaron cada 5 m. a lo largo de los túneles.

También se realizaron mediciones según alineaciones transversales, perpendiculares al eje del túnel.

Esta técnica resultó bastante lenta de ejecución, ya que en cada medición se invirtieron de dos a tres minutos.

Previamente al método de las resistividades eléctricas, se hicieron unas mediciones de resistividad electromagnética utilizando para ello un aparato que mide resistividades en un campo electromagnético.

El equipo genera una corriente alterna que crea un campo electromagnético cuyas características dependen de la conductividad de los materiales; dicho campo induce una corriente eléctrica la cual permite calcular la resistividad del medio.

El método es muy rápido de aplicación, pues no exige el contacto físico perfecto entre equipo y paredes del túnel. Sin embargo, este método es muy sensible a los campos electromagnéticos presentes en los túneles, como consecuencia de la cercanía de conducciones eléctricas, elementos metálicos capaces de transmitir corrientes parásitas, etcétera.

En las condiciones existentes en los túneles estudiados (especialmente por la presencia de conducciones eléctricas de comunicaciones que no se pudieron desconectar), no fue posible realizar mediciones correctas y por esta razón se sustituyó este método por el método de las resistividades eléctricas anteriormente descrito.

Termografía-infrarrojos

Este método geofísico mide, con precisión de $0,1^{\circ}\text{C}$, la temperatura del revestimiento y a la vez la temperatura ambiente del túnel.

Se trata de un método de rápida ejecución, ya que el tiempo medio invertido en cada medida, fue de 10 segundos. Aún es posible efectuar mediciones más rápidas desde un vehículo que se desplace a una velocidad de 3 a 5 Km/h.

Este método es muy eficaz para detectar la presencia de agua o humedades en el revestimiento y detrás del mismo.

Cuando el agua está confinada en la roca y no está sujeta a movimiento, su temperatura es la misma que la de la roca circundante. Sin embargo, cuando se trata de aguas migratorias procedentes de la superficie o de otro régimen térmico, éstas tienen una temperatura distinta a la de las rocas que las contienen. Este fenómeno es más acusado en los cambios estacionales de primavera y otoño.

Por otra parte, distintos tipos de revestimiento y distintos tipos de roca detrás del revestimiento tienen también distintas respuestas térmicas en relación con los cambios de la temperatura ambiente dentro del túnel; sin embargo este fenómeno es menos acusado que el explicado en el párrafo anterior.

Se realizaron mediciones sistemáticas cada 5 metros en cada uno de los hastiales, en riñones y en clave de ambos túneles.

Georadar

El método geofísico del Georadar, utiliza una antena para emitir y recibir ondas electromagnéticas dirigidas al interior del revestimiento.

Las ondas electromagnéticas sufren una reflexión al pasar de un material a otro de distinto comportamiento dieléctrico. Cada material tiene una velocidad característica para las ondas electromagnéticas generadas y que es función de la constante dieléctrica del material.

Las ondas reflejadas son captadas en la antena midiéndose su amplitud y el lapso de tiempo entre la emisión y la recepción.

Con estos datos se pueden determinar las características dieléctricas de los materiales atravesados y el espesor de las distintas capas.

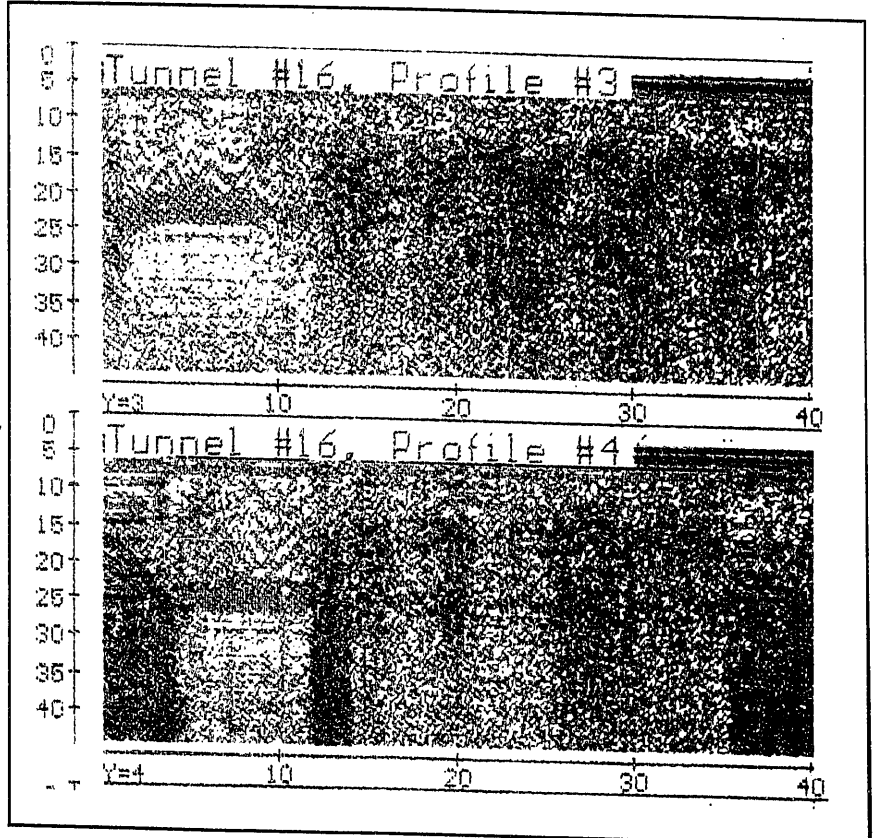
Las frecuencias utilizadas normalmente para investigaciones dentro de túneles, varían entre 500 y 1000 MHz.

Las frecuencias mayores proporcionan una resolución mayor aunque con un alcance menor. Por el contrario las frecuencias menores dan una resolución menor pero un alcance mayor.

En nuestra aplicación se utilizó una frecuencia de 500 MHz, para la investigación sistemática de los dos túneles.

En el método de trabajo utilizado se ha movido la antena a lo largo del revestimiento y en contacto con él a una velocidad entre 2 y 4 km/h.

Con la frecuencia de 500 MHz, el alcance ha sido de alrededor de 2 m. y la resolución, aproximadamente de media longitud de onda ($0,1$ a $0,15$ m.).



Con este método se determina muy bien la presencia dentro del revestimiento de refuerzos o cerchas metálicas, aunque no se tiene información de lo que hay detrás de dichos refuerzos metálicos, ya que la reflexión de las ondas electromagnéticas es total.

También se determina fácilmente el espesor del revestimiento en sitios en los que hay una separación pequeña entre el revestimiento y la roca.

También puede obtenerse información de lo que hay detrás del revestimiento como: huecos, rellenos o roca fracturada, etc. ya que las características dieléctricas son muy diferentes a la correspondiente al revestimiento.

En el caso de roca sana y un buen contacto con el revestimiento no se producen reflexiones de energía, y por tanto el método también permite detectar estos contactos.

La investigación geofísica con el georadar se llevó a cabo mediante cinco pasadas longitudinales en cada túnel (dos en los hastiales, dos en riñones y uno en clave), utilizando la frecuencia de 500 MHz.

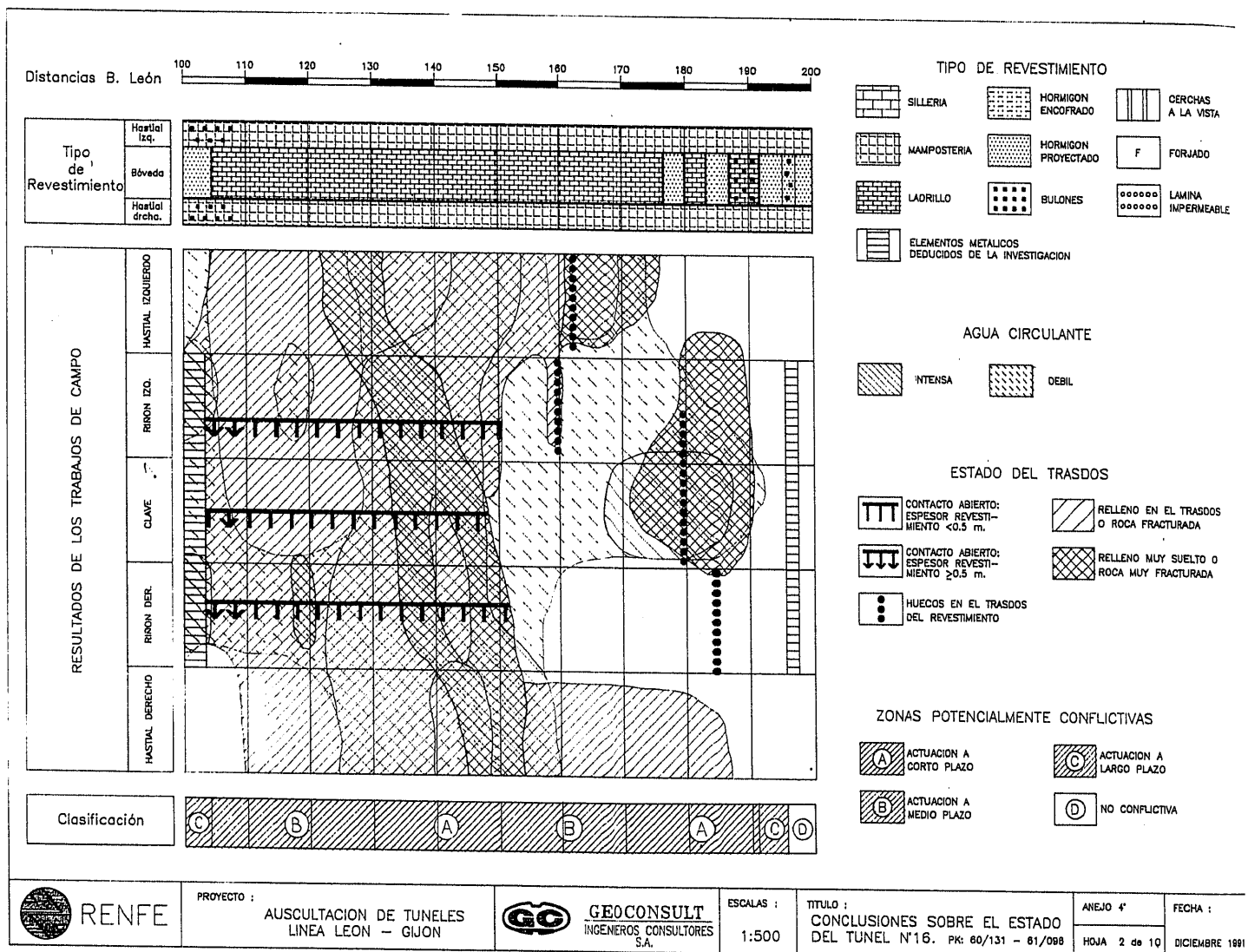
Los resultados obtenidos se almacenaron en un ordenador obteniéndose una gráfica continua para cada perfil de medición.

Gráfica resultante de la medición con Georadar.

Conclusiones sobre los métodos geofísicos

■ Termografía-Infrarrojos

Es un método muy sencillo y rápido de aplicación que permite obtener una información útil y



Plano de conclusiones sobre el estado de un túnel.

fiable sobre las zonas con infiltración de aguas en circulación, provenientes de la superficie o de otras zonas lejanas.

de revestimiento y no tiene alcance suficiente para suministrar información sobre el tipo de roca en el trasdós o el espesor del revestimiento.

Georadar

Es un método rápido y adecuado que permite obtener una información muy útil sobre factores como:

- Espesor del revestimiento, excepto en zonas con terreno de buena calidad y en contacto bueno con el revestimiento.
- Calidad del trasdós del revestimiento.
- Cavidades detrás del revestimiento.
- Presencia de elementos metálicos.

Para la interpretación final se ha utilizado la información simultánea obtenida con el georadar y con la termografía-infrarrojos, ya que ambos métodos facilitan una información distinta y complementaria.

Del trabajo realizado se deduce que este método facilita información únicamente sobre el tipo

Resistividades eléctricas

Este método obtiene información sobre factores como:

- Cantidad de agua.
- Presencia de huecos.
- Cambios en el tipo y espesor del revestimiento.
- Presencia de elementos metálicos.

Sin embargo, combinaciones de estos factores, pueden enmascarar los resultados. Tiene el inconveniente adicional de ser un procedimiento lento de aplicación.

Los resultados obtenidos con los métodos de la radiación gamma y resistividades eléctricas no aportan información adicional a la conseguida con los métodos del georadar y la termografía-infrarrojos. Por esta razón, la interpretación final del

informe se hizo básicamente con los datos suministrados por el georadar y la termografía.

Métodos de ultrasonidos y de resistividades electromagnéticas

Estos métodos no han dado resultados satisfactorios debido al pequeño alcance de los ultrasonidos y a las interferencias dentro del túnel por la presencia de campos electromagnéticos, generados por las conducciones eléctricas y de comunicación.

Conclusiones sobre el estado de los túneles

A la vista de los resultados de todos los trabajos de reconocimiento efectuados, se ha deducido el estado de los túneles en base a las variables siguientes:

- Presencia de agua.
- Tipo de contacto entre el revestimiento y el terreno.
- Existencia de cavidades en el trasdós del revestimiento.
- Calidad del terreno en la proximidad del túnel.
- Presencia de deformaciones, fisuras, etc.

El estado de estas variables, a lo largo de los túneles estudiados, se ha reflejado de forma resumida en planos de «Conclusiones sobre el estado de los túneles». Como se recoge en la figura adjunta.

Estas conclusiones agrupan la información aportada por cada una de las diferentes etapas del trabajo.

Recomendaciones de actuación

A la vista del estado de los túneles, analizado en base a las variables indicadas, se hizo una tramitación de los mismos por el grado de conflictividad que se estimó, según la siguiente clasificación que indica la prioridad de actuación:

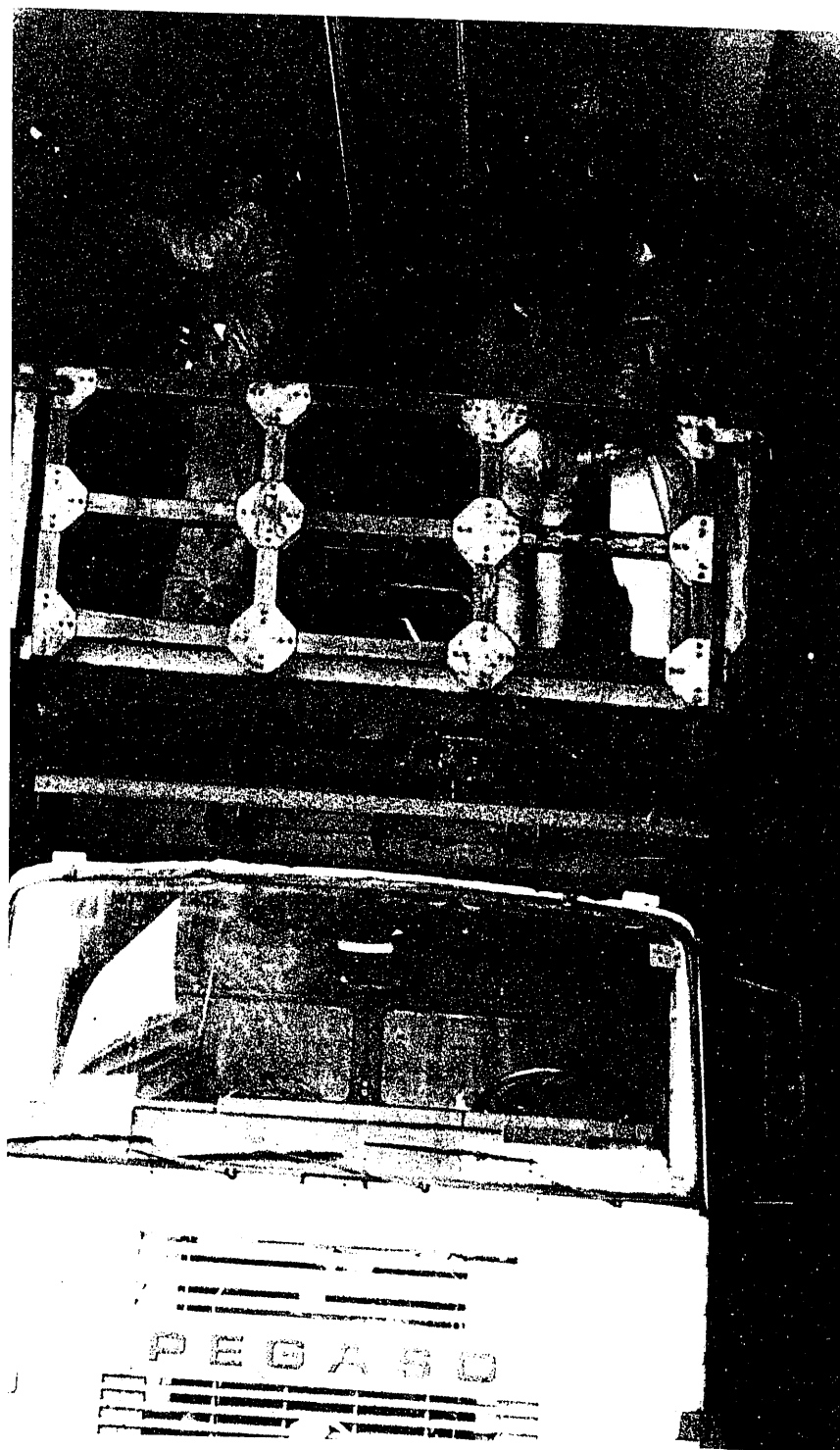
- A. Zonas potencialmente conflictivas de actuación a corto plazo.
- B. Zonas potencialmente conflictivas de actuación a medio plazo.
- C. Zonas potencialmente conflictivas de actuación a largo plazo.
- D. Zonas consideradas no conflictivas.

Si bien existe mucha similitud entre la problemática de las diferentes zonas, la actuación de cada una de ellas debería ajustarse a la problemática concreta que presente.

Como parte final del trabajo se definieron unas recomendaciones generales que orientasen el tipo de solución y, por tanto, sirvieron de base para la redacción de un proyecto de construcción.

Reconocimientos

El trabajo fue elaborado por un amplio equipo de profesionales bajo la dirección de GEOCONSULT. Dicho equipo lo formaron técnicos de GEO-



CONSULT y de las empresas colaboradoras IGT, INTERGEO y JOANNEUM RESEARCH.

Hay que reconocer la gran ayuda recibida por el personal de RENFE, en la solución de cuantos problemas se presentaron para la ejecución de los trabajos de campo dentro de los túneles. Este reconocimiento es extensivo a los que, tanto en León como Oviedo, velaron por la ejecución de los cortes de vía, catenaria y comunicaciones; para conseguir un trabajo eficaz en los túneles. ■

Plataforma de trabajo sobre vehículo. Auscultación con termografía en zona de la bóveda.