



**TÉCNICAS DE INSPECCIÓN, CONTROL Y REPARACIÓN
ENFOCADAS AL MANTENIMIENTO DE TÚNELES FERROVIARIOS
DE ALTA VELOCIDAD DURANTE SU EXPLOTACIÓN**

**MADRID
NOVIEMBRE 2010**

ASPECTOS DIFERENCIADORES DEL MANTENIMIENTO EN LAS OBRAS FERROVIARIAS EN EXPLOTACIÓN

- ✓ La mayoría de actuaciones de forma constante y sistemática.
- ✓ Mayoritariamente de carácter predictivo y/o preventivo.
- ✓ Aspectos diferenciadores en infraestructuras ferroviarias:
 - ❖ Acceso a los puntos problemáticos.
 - ❖ Tipo de maquinaria y vehículos a emplear.
 - ❖ Limitación de circulación si existe ocupación previa de la vía.
- ✓ Aumento del coste de los trabajos en fase de explotación.
- ✓ Concepción infraestructura (diseño+construcción) con el objetivo de requerir actuaciones de mantenimiento mínimas

CONCEPCIÓN GENERAL DEL MANTENIMIENTO DE TÚNELES FERROVIARIOS DE ALTA VELOCIDAD

PLANIFICACIÓN DEL MANTENIMIENTO PARA TODA LA INFRAESTRUCTURA

✓ Análisis de riesgos. Labor inicial.

- ❖ Base para el desarrollo de todo el trabajo posterior.
- ❖ Fundamental contar con:

Experiencia y especialización para identificar problemas potenciales.
Datos obtenidos en fases anteriores a la explotación.

✓ Seguimiento general. Frecuencia baja.

- ❖ Inspección sistemática de toda la infraestructura.
- ❖ Grado de detalle necesario para detectar problemas.
- ❖ Nuevamente fundamental la experiencia y la labor previa de análisis de riesgos para determinar la necesidad de particularizar.

CONCEPCIÓN GENERAL DEL MANTENIMIENTO DE TÚNELES FERROVIARIOS DE ALTA VELOCIDAD

PLANIFICACIÓN DEL MANTENIMIENTO PARA TODA LA INFRAESTRUCTURA

✓ Seguimiento particularizado.

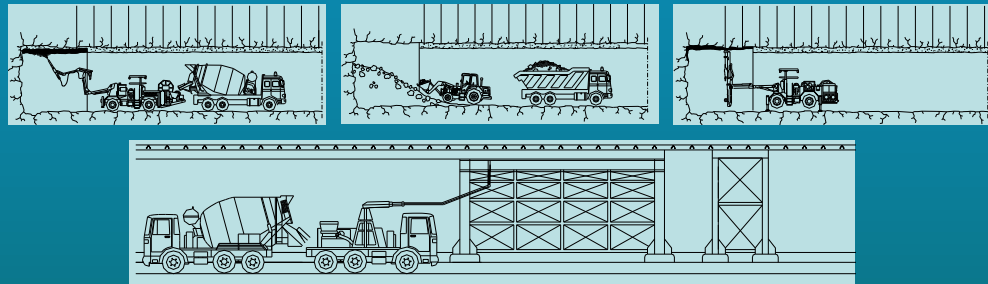
- ❖ Apertura de expediente particularizado para un determinado elemento de la infraestructura.
- ❖ Análisis de detalle. Se cuenta con:
 - Datos procedentes del análisis de riesgos.
 - Observaciones procedentes del seguimiento general.
 - Visitas especializadas a la zona.
- ❖ Establecimiento de medidas urgentes (si fuera necesario).
- ❖ Establecimiento de un plan de control específico más restrictivo que el seguimiento general.

**TODOS LOS TÚNELES SON ELEMENTOS
PARTICULARIZADOS DE LA INFRAESTRUCTURA**

ELEMENTOS Y ASPECTOS QUE CONTRIBUYEN A LA ESTABILIDAD A LARGO PLAZO DE LOS TÚNELES

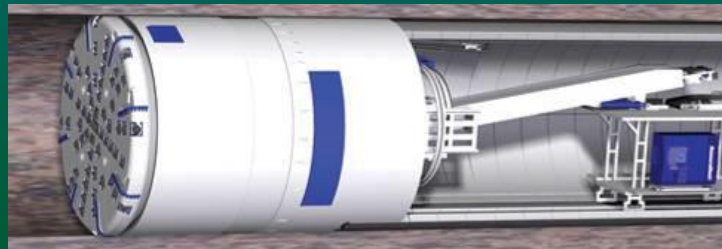
FASES BÁSICAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL “CONVENCIONAL”

- ✓ Excavación.
- ✓ Sostenimiento.
- ✓ Revestimiento.



FASES BÁSICAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL “PREFABRICADO”

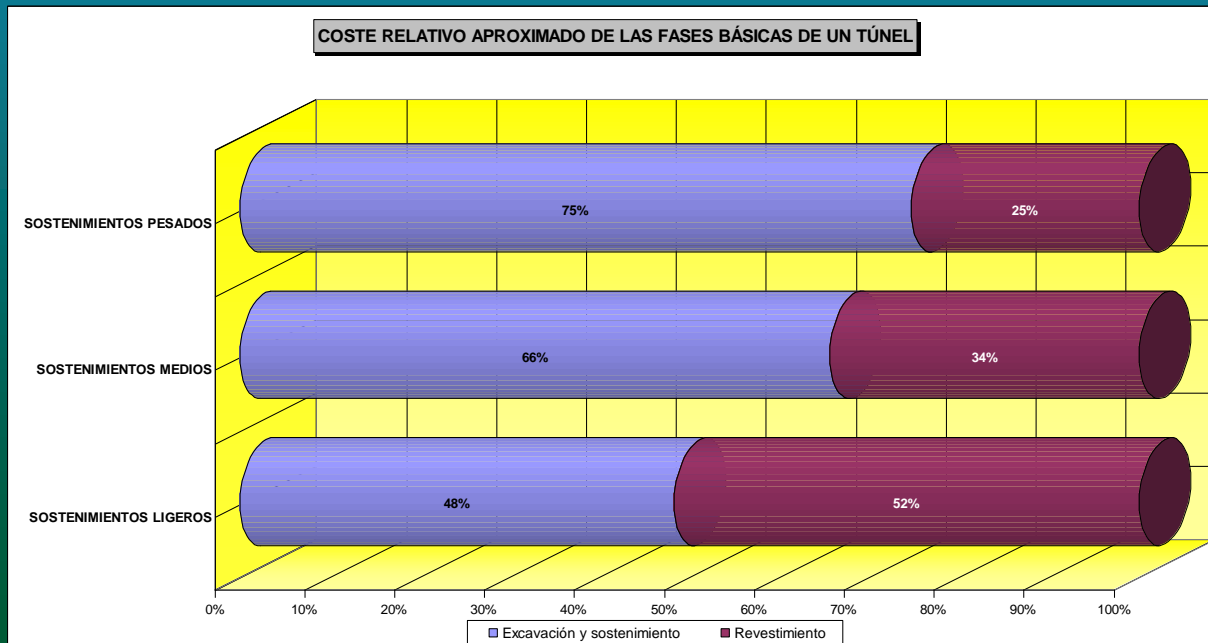
- ✓ Excavación.
- ✓ Sostenimiento+Revestimiento.



ELEMENTOS QUE CONTRIBUYEN A LA ESTABILIDAD A LARGO PLAZO DE LOS TÚNELES

FASES BÁSICAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL “CONVENCIONAL”

- ✓ Excavación+Sostenimiento => 50%-70% del total de obra civil
- ✓ Revestimiento =>30%-50% del total de obra civil



ELEMENTOS QUE CONTRIBUYEN A LA ESTABILIDAD A LARGO PLAZO DE LOS TÚNELES

FASES BÁSICAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL “CONVENCIONAL”

✓ Excavación y sostenimiento.

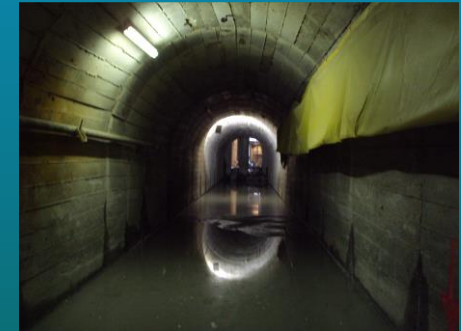


- ❖ Elementos básicos: hormigón proyectado, bulonado, cerchas metálicas, rollizos de madera, puntales, longarinas, etc.
- ❖ Condiciones de puesta en obra extremas.
- ❖ Misión fundamental => contención provisional.
- ❖ Necesidad de sostener + peso que conseguir cierto grado de acabado y detalle (tiempo de ejecución).
- ❖ Elementos poco durables => no se asegura su integridad a medio-largo plazo.

ELEMENTOS QUE CONTRIBUYEN A LA ESTABILIDAD A LARGO PLAZO DE LOS TÚNELES

FASES BÁSICAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL “CONVENCIONAL”

✓ Revestimiento.



- ❖ Una vez finalizado el sostenimiento F.S. igual a 1, únicamente puede asegurarse esto con absoluta certeza y seguridad.
- ❖ Anillo autoportante, independiente del sostenimiento.
- ❖ Dota del factor de seguridad global necesario a largo plazo.
- ❖ Calidad de acabado (puesta en obra) detalle (replanteo) mayores => No existe premura para entibar.
- ❖ Cálculo a largo plazo => prescindir de todos los elementos metálicos, madera, incluso de hormigón proyectado.

PROBLEMÁTICA GENERAL EN TÚNELES FERROVIARIOS DE ALTA VELOCIDAD

HUMEDAD. FILTRACIONES. PRESENCIA DE AGUA

✓ Zonas susceptibles de presentarlas:

- ❖ A través de fisuras.
- ❖ A través de juntas entre anillos.
- ❖ A través de juntas frías.
- ❖ A través de mechinales.



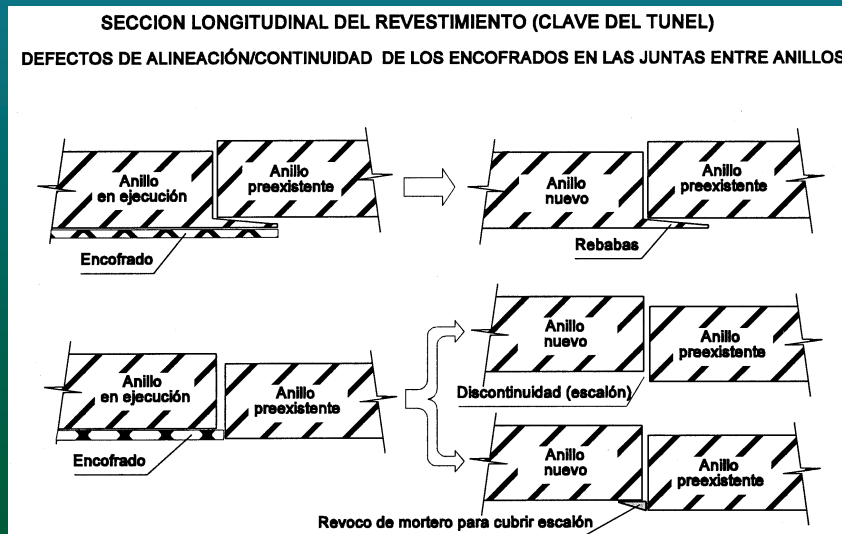
✓ Efectos para el túnel:

- ❖ Liberan presión hidrostática sobre el trasdós del revestimiento.
- ❖ Goteos sobre catenaria y sobre vía, en algunos casos bastante fuertes (ataque a estos elementos metálicos).
- ❖ Lavado de material y generación de huecos en trasdós.
- ❖ Transmiten posibles agentes agresivos a zonas del túnel sin patologías o los hacen penetrar a zonas internas del anillo (revestimientos armados).
- ❖ Efecto antiestético y que puede alarmar al usuario.

PROBLEMÁTICA GENERAL EN TÚNELES FERROVIARIOS DE ALTA VELOCIDAD

DESALINEACIONES Y DISCONTINUIDADES DE LAS JUNTAS ENTRE MODULOS DE ANILLOS

- ✓ Entre puestas de carros de encofrado adyacentes (movimientos y/o desalineaciones).
- ✓ Efectos: rebabas de mortero sobre el intradós del anillo adyacente.

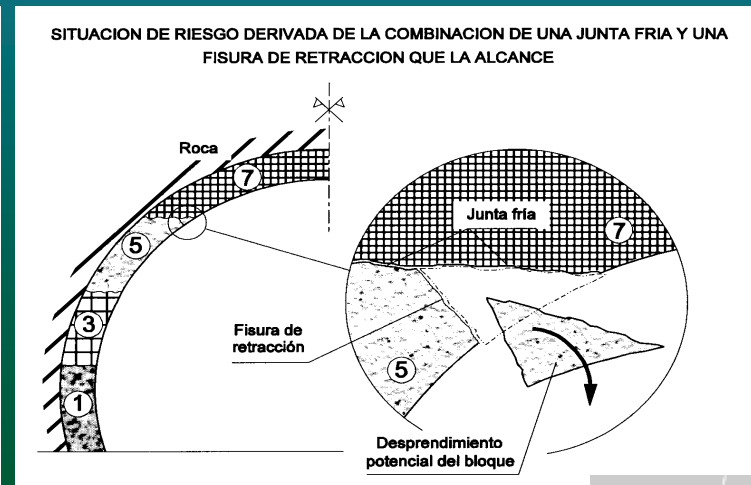
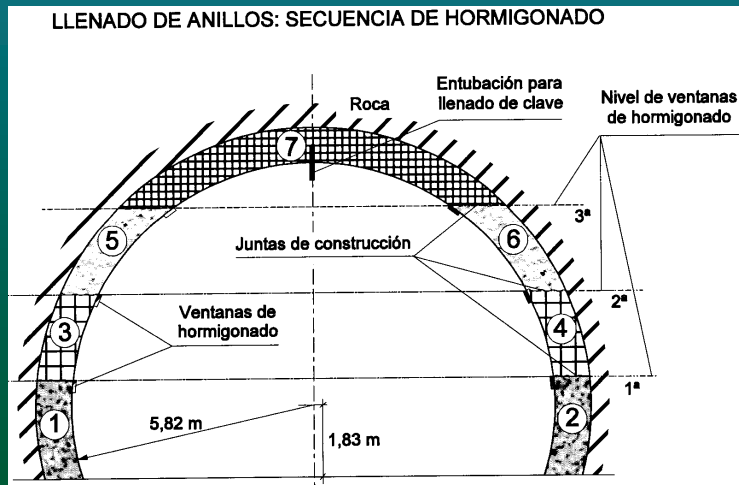


PROBLEMÁTICA GENERAL EN TÚNELES FERROVIARIOS DE ALTA VELOCIDAD

JUNTAS FRÍAS DE HORMIGONADO

JUNTAS FRÍAS DE HORMIGONADO

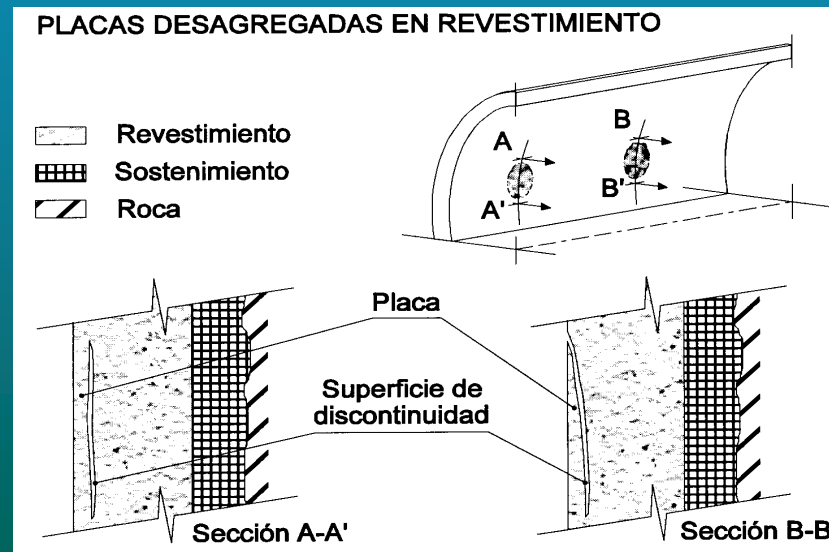
- ✓ En cualquier zona del anillo debido a un hormigonado discontinuo.
- ✓ Efectos para el túnel:
 - ❖ Generación de juntas horizontales (orientación desfavorable).
 - ❖ Cuñas con posibilidad de inestabilización en riñones y hombros.



PROBLEMÁTICA GENERAL EN TÚNELES FERROVIARIOS DE ALTA VELOCIDAD

SEGREGACIONES Y DESAGREGACIONES LOCALES

✓ Generalmente situadas en zonas de hastiales.



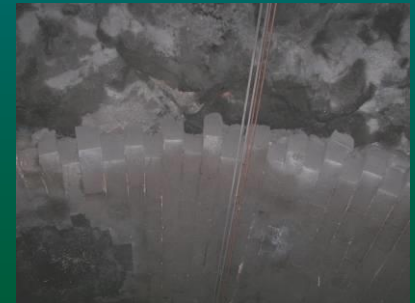
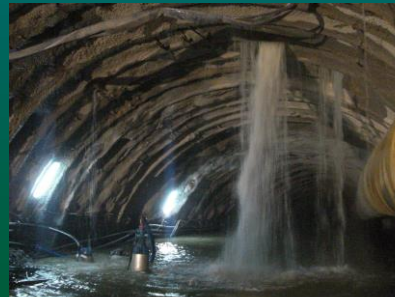
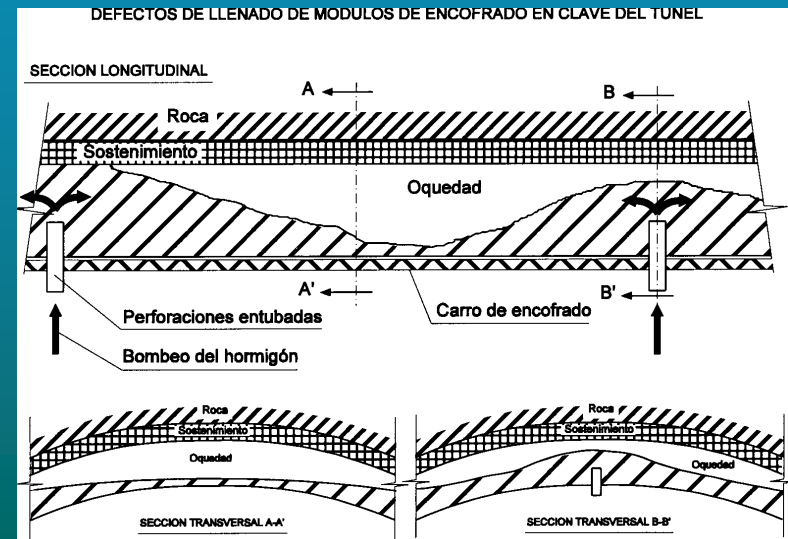
✓ Efectos para el túnel:

- ❖ Placas de tipo superficial.
- ❖ Espesor de orden centimétrico.
- ❖ Extensión variable.

PROBLEMÁTICA GENERAL EN TÚNELES FERROVIARIOS DE ALTA VELOCIDAD

LLENADO DEFECTUOSO EN MÓDULOS DE ENCOFRADO (HUECOS EN TRASDÓS)

- ✓ Defecto bastante habitual, no sólo en caso de sostenimientos sin cerchas (mayor probabilidad en estos).
- ✓ Zonas más habituales próximas a clave (dificultad de llenado).



PROBLEMÁTICA GENERAL EN TÚNELES FERROVIARIOS DE ALTA VELOCIDAD

LLENADO DEFECTUOSO EN MÓDULOS DE ENCOFRADO (HUECOS EN TRASDÓS)

✓ Efectos para el túnel:

❖ Posibilidad de caída de bloques. La probabilidad aumenta:

Cuanto mayor sea la superficie del revestimiento afectado por la oquedad.
Cuanto menor sea el espesor de revestimiento que la cubre.
Cuanto mayor fisuración y alteración exista en la superficie afectada.

❖ Falta de confinamiento del anillo de revestimiento (comportamiento estructural defectuoso).

❖ Ambos efectos afectan a la estabilidad del anillo:

Parcial => Caída de bloques.
Global => Falta de confinamiento.

PROBLEMÁTICA GENERAL EN TÚNELES FERROVIARIOS DE ALTA VELOCIDAD

FISURACIÓN

- ✓ Común y abundante en la mayoría de los túneles. En cualquier punto de la sección.
- ✓ Requieren de especial atención:
 - ❖ Fracturas de dirección aleatoria.
 - ❖ Salto entre labios.
 - ❖ Desconches en borde.
 - ❖ Concentradas en zonas concretas del túnel (análisis de riesgos).
- ✓ Mayoría de origen reológico. Problemáticas sí:
 - ❖ Zona de clave.
 - ❖ Fisuras pasantes.
 - ❖ Oquedad en el trasdós.
 - ❖ Cruce de fisuras, generando bloques.



SISTEMÁTICA DE INSPECCIÓN Y SEGUIMIENTO EN TÚNELES FERROVIARIOS

INSPECCIONES RUTINARIAS A PIE EN PRIMERA FASE

- ✓ Elementos comunes objeto de inspección:
 - ❖ Zonas de la bóveda con refuerzos o actuaciones.
 - ❖ Juntas constructivas entre anillos. Creación de rebabas.
 - ❖ Juntas frías.
 - ❖ Evolución de grietas y fisuras, controlando:
 - Abertura
 - Magnitud
 - saltos entre labios
 - Fisurómetros (instalación y lectura), etc.
 - ❖ Zonas de fisuración entrecruzada.
 - ❖ Aceras y cunetas.
 - ❖ Humedades, infiltraciones, eflorescencias, carbonatación, etc.
 - ❖ Comprobación de la respuesta al golpeo con martillo.
 - ❖ Evolución de los sistemas de drenaje.
 - ❖ Instalaciones del túnel (catenaria, barandillas, etc).
- ✓ Inspección particularizada de elementos singulares.

SISTEMÁTICA DE INSPECCIÓN Y SEGUIMIENTO EN TÚNELES FERROVIARIOS

AUSCULTACION

- ✓ Seguimiento general mediante convergencias:
 - ❖ General con separaciones sistemáticas y uniformes.
 - ❖ Adicionales en zonas especiales.
 - ❖ Limitadas a la cuerda horizontal.

- ✓ Seguimiento particular mediante instrumentación heredada de la etapa de construcción:
 - ❖ Células de presión.
 - ❖ Extensómetros.
 - ❖ Piezómetros.
 - ❖ Etc.

- ✓ Seguimiento particular mediante instrumentación dispuesta en fase de mantenimiento.

SISTEMÁTICA DE INSPECCIÓN Y SEGUIMIENTO EN TÚNELES FERROVIARIOS

INSPECCIONES RUTINARIAS A PIE EN PRIMERA FASE

- ✓ Elementos comunes inspeccionados. Ejemplos:



SISTEMÁTICA DE INSPECCIÓN Y SEGUIMIENTO EN TÚNELES FERROVIARIOS

INSPECCIONES DE CLAVE CON MAQUINARIA AUXILIAR Y RECONOCIMIENTOS GEOFÍSICOS EN SEGUNDA FASE

✓ Objetivos:

- ❖ Identificación de huecos en el revestimiento.
- ❖ Detección de variaciones significativas en el espesor del revestimiento.
- ❖ Identificación de elementos singulares del sostenimiento y/o revestimiento tales como cerchas, mallazo, etc.

✓ Tipos de inspección:

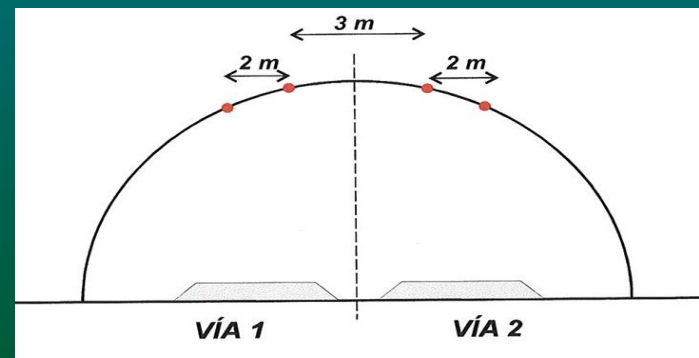
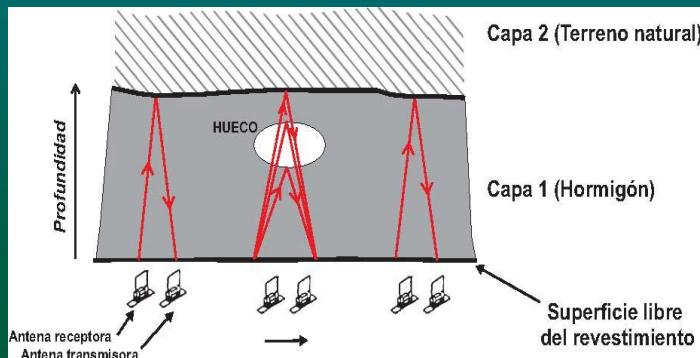
- ❖ Análisis mediante georradar.
- ❖ Inspección particularizada (próxima y detallada) de la clave.
- ❖ Inspección con ultrasonidos (PUNDIT adaptado a pruebas “in situ”)

SISTEMÁTICA DE INSPECCIÓN Y SEGUIMIENTO EN TÚNELES FERROVIARIOS

INSPECCIONES DE CLAVE CON MAQUINARIA AUXILIAR Y RECONOCIMIENTOS GEOFÍSICOS EN SEGUNDA FASE

✓ Análisis mediante georradar:

- ❖ Altas frecuencias (entre 900 y 1.200 MHz) para conseguir la mayor resolución a costa de limitar el alcance.
- ❖ Toma de datos en 4 perfiles longitudinales, en zona de clave. Complemento eventual con perfiles transversales.
- ❖ Desplazamiento de antenas entre 3 y 5 Km/h sobre la superficie del revestimiento manteniendo el contacto con él.

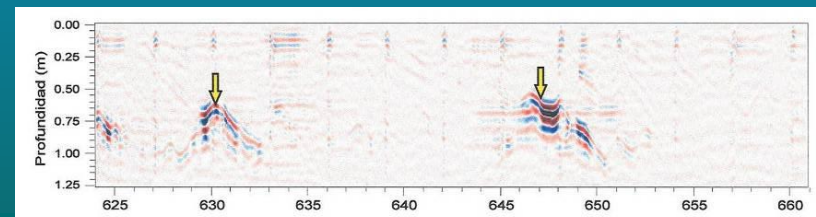
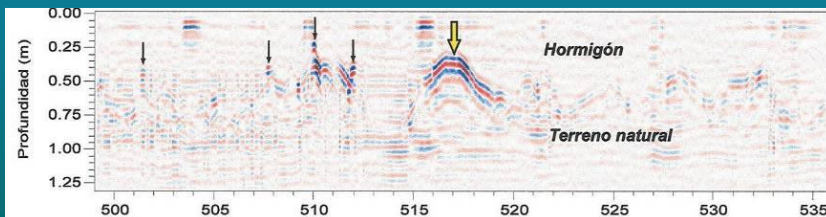


SISTEMÁTICA DE INSPECCIÓN Y SEGUIMIENTO EN TÚNELES FERROVIARIOS

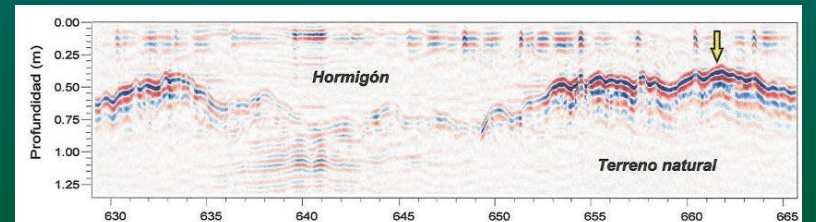
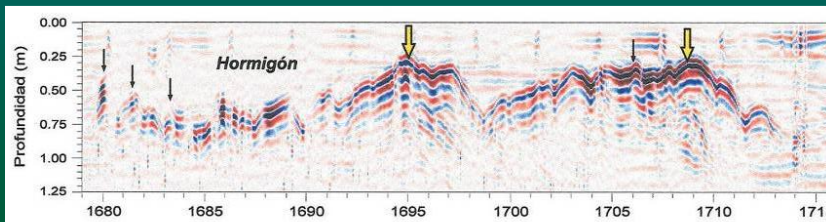
INSPECCIONES DE CLAVE CON MAQUINARIA AUXILIAR Y RECONOCIMIENTOS GEOFÍSICOS EN SEGUNDA FASE

✓ Análisis mediante georradar. Ejemplos:

❖ Anomalías producidas por huecos probables en el revestimiento



❖ Anomalías producidas por zonas de despegue del revestimiento con desarrollo lateral elevado

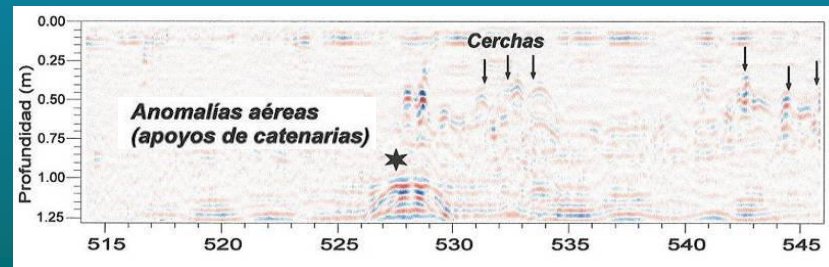
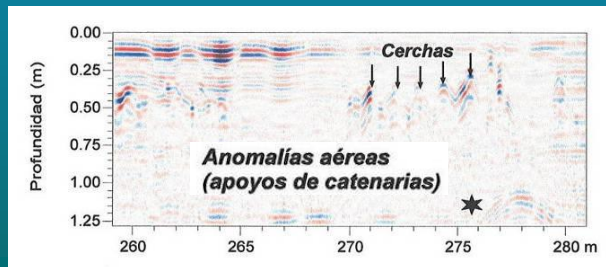


SISTEMÁTICA DE INSPECCIÓN Y SEGUIMIENTO EN TÚNELES FERROVIARIOS

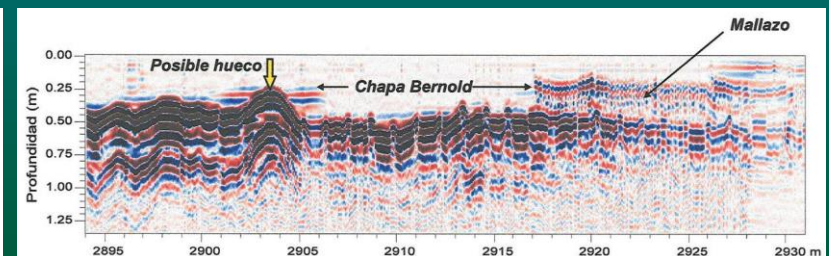
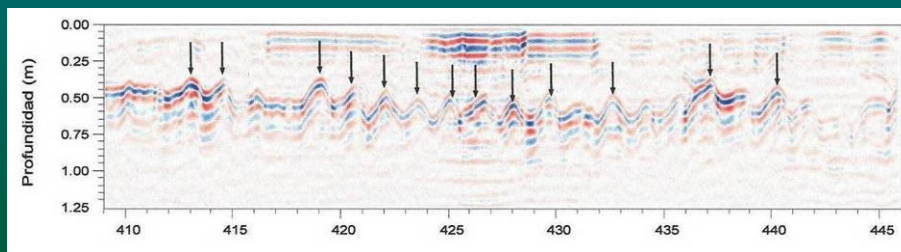
INSPECCIONES DE CLAVE CON MAQUINARIA AUXILIAR Y RECONOCIMIENTOS GEOFÍSICOS EN SEGUNDA FASE

✓ Análisis mediante georradar. Ejemplos:

❖ Falsas anomalías producidas por elementos aéreos (catenaria)



❖ Anomalías producidas por refuerzos metálicos del sostenimiento



SISTEMÁTICA DE INSPECCIÓN Y SEGUIMIENTO EN TÚNELES FERROVIARIOS

INSPECCIONES DE CLAVE CON MAQUINARIA AUXILIAR Y RECONOCIMIENTOS GEOFÍSICOS EN SEGUNDA FASE

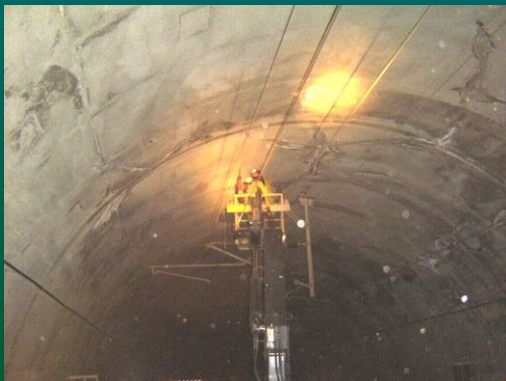
- ✓ Inspección en clave particularizada:
 - ❖ Inspección detallada de la bóveda con martillo.
 - ❖ Inspección de los soportes de catenaria.
 - ❖ Comprobación de juntas entre módulos de anillos en clave y hombros.
 - ❖ Estado de las rebabas de hormigón y morteros de reparación de juntas entre anillos.
 - ❖ Evolución y estado de reparaciones.
 - ❖ Defectos geométricos en la bóveda (abultamientos, etc).



SISTEMÁTICA DE INSPECCIÓN Y SEGUIMIENTO EN TÚNELES FERROVIARIOS

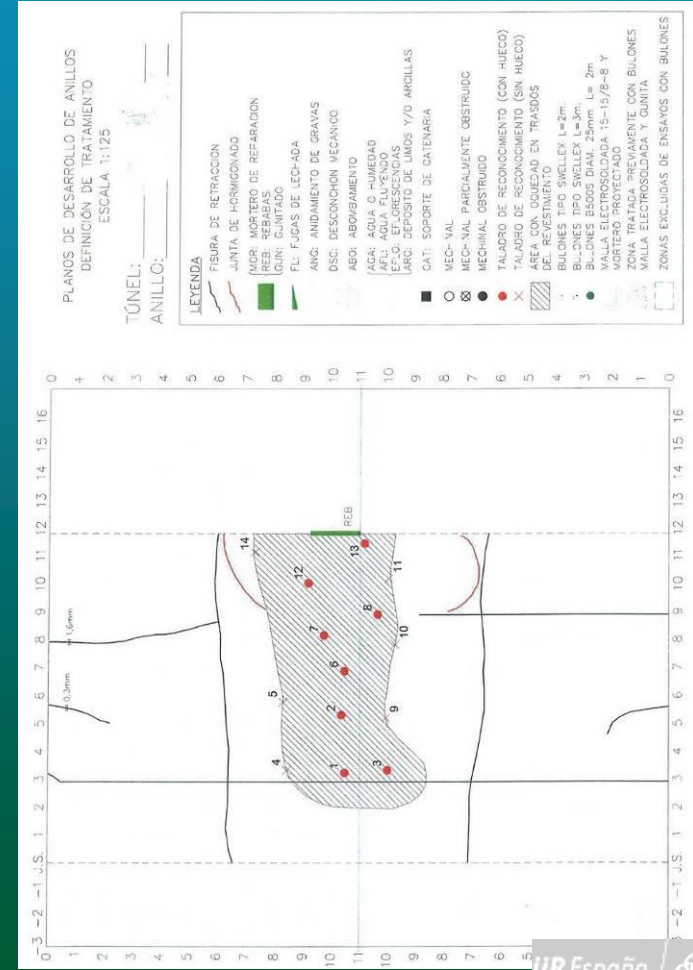
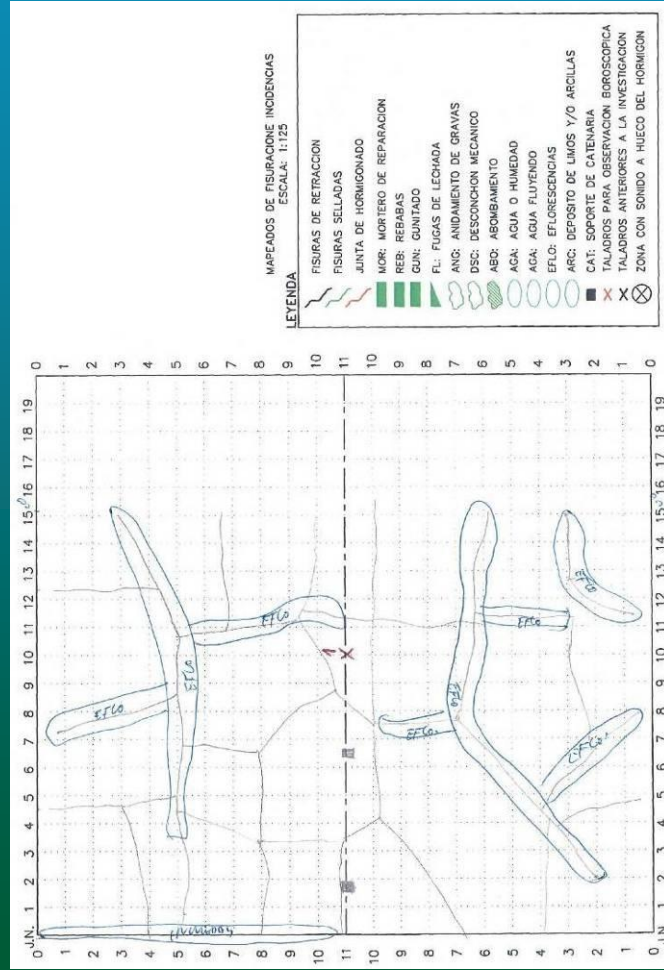
INSPECCION DEL TRASDÓS DEL REVESTIMIENTO

- ✓ Mediante taladros en zonas detectadas e interpretadas como oquedad (otras zonas de contraste).
- ✓ Observación de taladro trasdós mediante boroscopio:
 - ❖ Dimensiones de la oquedad (ancho, largo y profundidad).
 - ❖ Espesor del revestimiento.
 - ❖ Estado de los elementos del sostenimiento (hormigón proyectado, bulones, cerchas,...).
 - ❖ Presencia de agua.
 - ❖ Materiales desprendidos sobre el trasdós del revestimiento.
 - ❖ Fisuración existente en la zona.



SISTEMÁTICA DE INSPECCIÓN Y SEGUIMIENTO EN TÚNELES FERROVIARIOS

REGISTRO DE LAS INSPECCIONES. "MAPEADOS"



NUEVAS TENDENCIAS PARA INSPECCIÓN Y EL SEGUIMIENTO DE TÚNELES

INSPECCIÓN Y SEGUIMIENTO MEDIANTE LASER-SCANNER

✓ Necesidad de nuevas tecnologías:

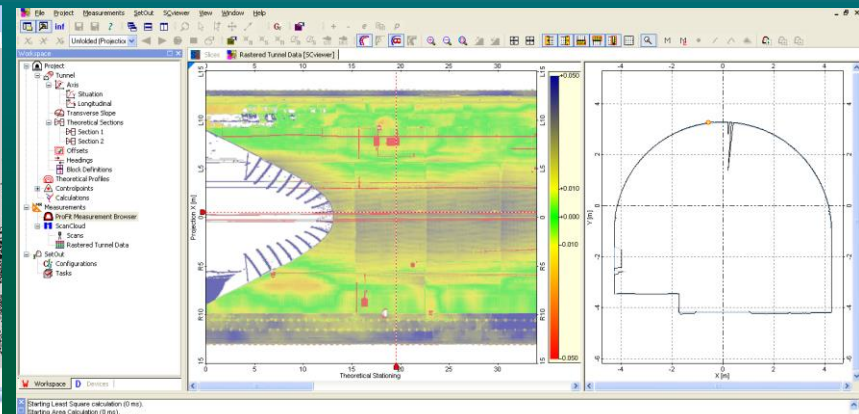
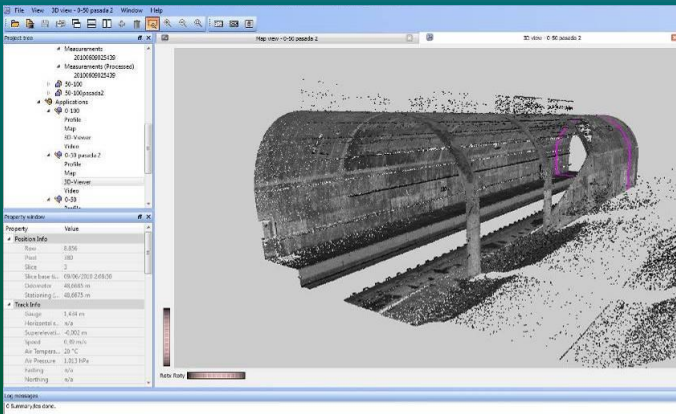
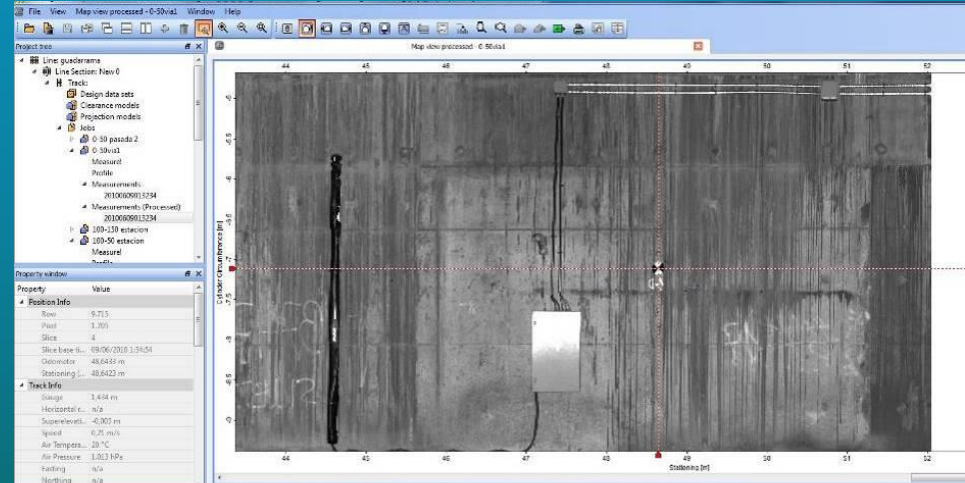
- ❖ Túneles de longitudes elevadas (Guadarrama, San Pedro, Pajares, Abdalajís, etc).
- ❖ Tiempos de trabajo nocturnos y muy reducidos.
- ❖ Necesidad de sistemas rápidos con igual o mayor eficiencia y exactitud.
- ❖ Herramienta de trabajo. El análisis y la experiencia de los técnicos sigue siendo indispensable.

✓ Aspectos diferenciadores:

- ❖ Necesidad de apoyo de topografía de precisión.
- ❖ Preparación previa compleja.
- ❖ Necesidad de elementos de desplazamiento por vía autónomos.
- ❖ Rapidez en la toma de datos.
- ❖ Precisión en la toma de datos.
- ❖ Posibilidades de análisis posteriores de detalle y comparaciones temporales (evolutivos).

NUEVAS TENDENCIAS PARA INSPECCIÓN Y EL SEGUIMIENTO DE TÚNELES

INSPECCIÓN Y SEGUIMIENTO MEDIANTE LASER-SCANNER



CASOS PRÁCTICOS DE TRATAMIENTO Y MANTENIMIENTO DE TÚNELES FERROVIARIOS DE ALTA VELOCIDAD

JUNTAS CONSTRUCTIVAS ENTRE ANILLOS

- ✓ Picado de saneo de bordes.
- ✓ Desprendimiento de elementos ajenos a la junta.
 - ❖ Rebabas
 - ❖ Morteros de cobertura
 - ❖ Bloques, capas o fragmentos de hormigón potencialmente inestables.
- ✓ Reparaciones de bordes de junta (existentes o provocados por el saneo).
 - ❖ Limpieza de la superficie.
 - ❖ Imprimación de las superficies.
 - ❖ Morteros de reparación.
 - ❖ Refuerzo del mortero mediante fibras sintéticas.
- ✓ Regularización final de superficies.

CASOS PRÁCTICOS DE TRATAMIENTO Y MANTENIMIENTO DE TÚNELES FERROVIARIOS DE ALTA VELOCIDAD

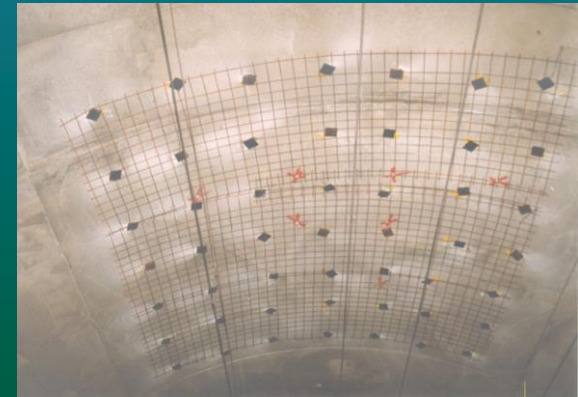
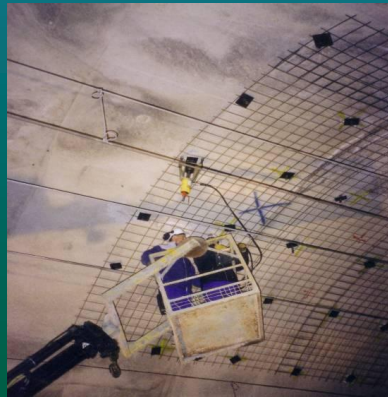
OQUEDADES EN TRASDÓS DE REVESTIMIENTOS

- ✓ **Tratamiento mediante inyección:**
 - ❖ De contacto: Mediante lechadas bentonita-cemento. Colmatación de huecos espesor moderado ó defectos en contacto sostenimiento-revestimiento.
 - ❖ De relleno: Mediante mortero de cemento .
- ✓ **Inyecciones de relleno: espesor y fisuración del hormigón de revestimiento dato fundamental para establecer refuerzos previos.**
- ✓ **Trabajos de refuerzo anteriores a la inyección:**
 - ❖ Protección de catenaria, carril y balasto.
 - ❖ Bulonado.
 - ❖ Colocación de malla electrosoldada de refuerzo.
 - ❖ Proyección de mortero.

CASOS PRÁCTICOS DE TRATAMIENTO Y MANTENIMIENTO DE TÚNELES FERROVIARIOS DE ALTA VELOCIDAD

OQUEDADES EN TRASDÓS DE REVESTIMIENTOS

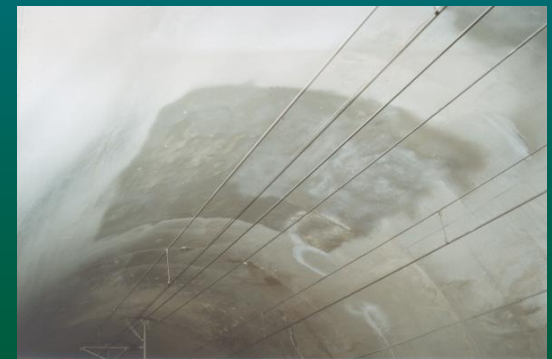
- ✓ **Bulonado y colocación de malla electrosoldada:**
 - ❖ **Bulones de expansión, se emplean manguitos metálicos para no dañar el revestimiento. Espesores de revestimiento grandes.**
 - ❖ **Bulones de anclaje repartido con resina, se emplean tubos ranurados para salvar los huecos existentes y la pérdida de resina. Espesores de revestimiento reducidos.**



CASOS PRÁCTICOS DE TRATAMIENTO Y MANTENIMIENTO DE TÚNELES FERROVIARIOS DE ALTA VELOCIDAD

OQUEDADES EN TRASDÓS DE REVESTIMIENTOS

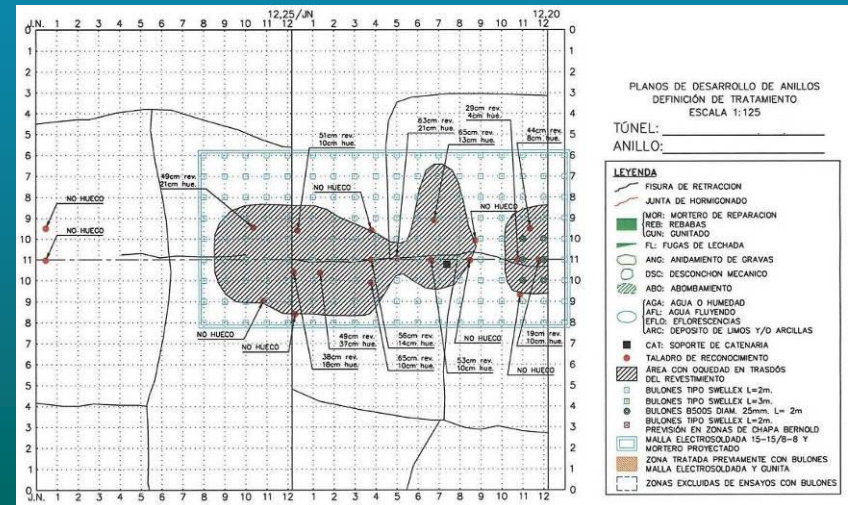
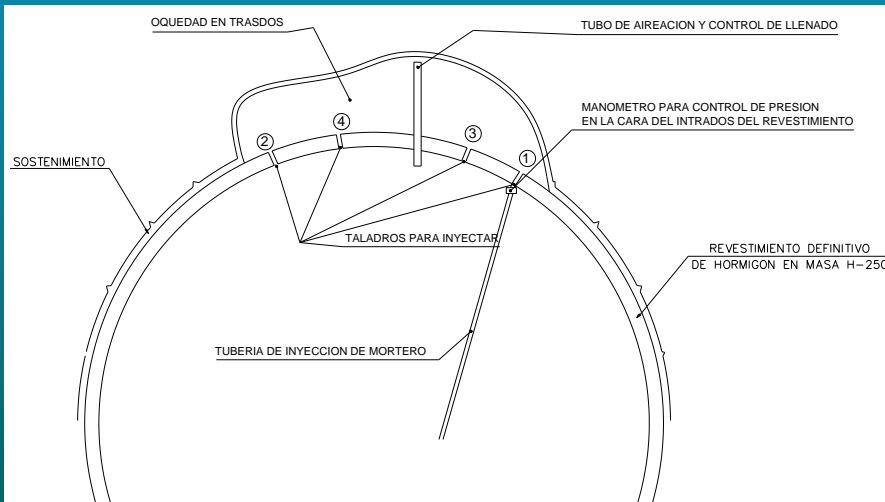
- ✓ Mortero proyectado:
 - ❖ Limitaciones de tiempo para su puesta en obra.
 - ❖ Empleo de acelerantes indispensable para obtener altas resistencias iniciales en 24 horas (20 MPa).
 - ❖ Necesidad de limpieza y humectación de toda la zona a proyectar. Precaución con las zonas de “sombra” para no generar lajas o dejar expuesta la malla (oxidación).
 - ❖ Indispensable protección de la vía para evitar su consolidación por el “rechazo”.



CASOS PRÁCTICOS DE TRATAMIENTO Y MANTENIMIENTO DE TÚNELES FERROVIARIOS DE ALTA VELOCIDAD

OQUEDADES EN TRASDÓS DE REVESTIMIENTOS

✓ Inyección. Esquema general del tratamiento:



✓ Características básicas:

- ❖ Relaciones cemento/arena de 1/1,5 a 1/3
- ❖ Consistencias de más seca a más fluida
- ❖ Dosificación de cemento 375-425 Kg/m³
- ❖ Presión de inyección: 0,2-1 bar (circulación libre)

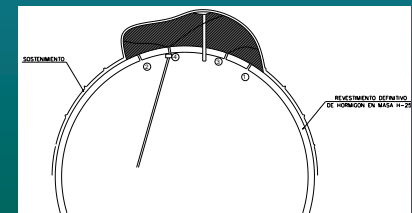
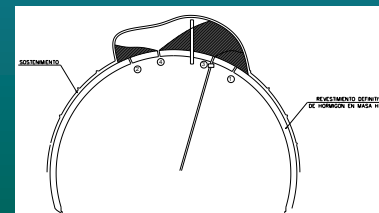
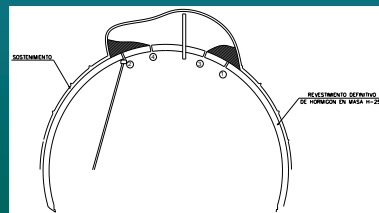
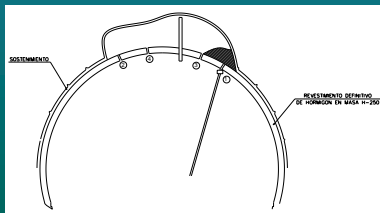
CASOS PRÁCTICOS DE TRATAMIENTO Y MANTENIMIENTO DE TÚNELES FERROVIARIOS DE ALTA VELOCIDAD

OQUEDADES EN TRASDÓS DE REVESTIMIENTOS

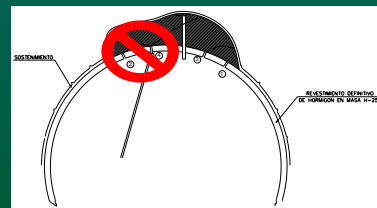
✓ Fases de inyección:

- ❖ Dosificación cemento/arena de 1/1,5 a 1/3
- ❖ Empleo de más fluida a más densa
- ❖ Dosificación de cemento será de 375-425 Kg/m³

FASES DE LLENADO (ASCENDENTES)



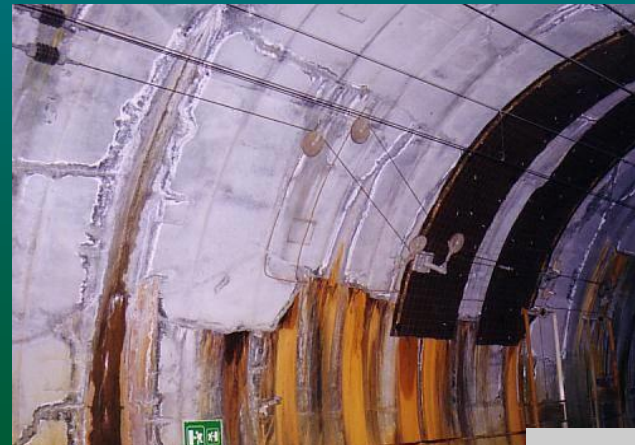
FASE FINAL DE INYECCIÓN HASTA P_{max}



CASOS PRÁCTICOS DE TRATAMIENTO Y MANTENIMIENTO DE TÚNELES FERROVIARIOS DE ALTA VELOCIDAD

TRATAMIENTOS DE IMPERMEABILIZACIÓN

- ✓ Colocación de láminas de impermeabilización.
- ✓ Derivación del agua hasta los paseos de la base de hastiales y al sistema de drenaje del túnel.
- ✓ En caso de cortar la circulación de agua es necesario tener en cuenta la sobre-presión potencial generada



CASOS PRÁCTICOS DE TRATAMIENTO Y MANTENIMIENTO DE TÚNELES FERROVIARIOS DE ALTA VELOCIDAD

TRATAMIENTOS Y DEFECTOS EN EL DRENAJE

- ✓ Defectos en la lámina de impermeabilización
- ✓ Obturación del dren central con restos de obra o precipitación de sales.
- ✓ Fallos en el diseño o la ejecución de elementos del drenaje.



CASOS PRÁCTICOS DE TRATAMIENTO Y MANTENIMIENTO DE TÚNELES FERROVIARIOS DE ALTA VELOCIDAD

PARTICULARIDADES EN REVESTIMIENTOS PREFABRICADOS

✓ Aspectos diferenciadores:

- ❖ Anillo discontinuo.
- ❖ Estructura próxima a un mecanismo con múltiples grados de libertad, confinamiento factor decisivo.
- ❖ En este caso es más importante si cabe el trabajo a compresión y de manera muy especial en las juntas.
- ❖ Fundamental inyección de trasdós para garantizar el confinamiento.

✓ Singularidades para el seguimiento:

- ❖ Monteras elevadas. Solicitaciones elevadas sobre el anillo de sostenimiento-revestimiento desde construcción (empujes del terreno, hidrostáticos, etc).
- ❖ Sobre-ancho o “gap” inevitable y ligado al sistema constructivo. Aumento del riesgo de falta de confinamiento.
- ❖ En general, ausencia de signos de comportamiento anómalo (fisuras o grietas). Solamente movimientos relativos entre dovelas delatarían comportamientos anómalos.
- ❖ La gran longitud de los túneles dificulta gravemente el reconocimiento visual detallado.

CASOS PRÁCTICOS DE TRATAMIENTO Y MANTENIMIENTO DE TÚNELES FERROVIARIOS DE ALTA VELOCIDAD

PARTICULARIDADES EN REVESTIMIENTOS PREFABRICADOS

✓ Análisis de riesgos:

❖ Análisis de información previa:

Reconocimientos en todas las fases.
Observaciones realizadas durante la obra.
Información procedente de auscultación existente.

❖ Tramificación de riesgos a lo largo del túnel.

✓ Situación inicial del túnel:

- ❖ Es deseable disponer de registros continuos de los túneles principales con la técnica del láser-escáner
- ❖ Recorrido de inspección para la observación y valoración de la situación actual de revestimiento de los túneles.

✓ Programa de inspección y auscultación.