

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MECÁNICA DE ROCAS
JORNADA TÉCNICA SOBRE TÚNELES EN CONDICIONES DIFÍCILES

EMBOQUILLADO EN CONDICIONES SINGULARES



CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS Y
EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

MADRID, 2 DE ABRIL DE 2008



SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MECÁNICA DE ROCAS
JORNADA TÉCNICA SOBRE TÚNELES EN CONDICIONES DIFÍCILES

CRITERIOS DE DISEÑO HABITUALES

ESTABILIDAD DE LA EXCAVACIÓN



1-1,5 DIÁMETROS SOBRE CLAVE DE ROCA COMPETENTE, ARCO DESCARGA



**NECESIDAD DE GARANTIZAR TERRENO
COMPETENTE ALREDEDOR DEL TÚNEL**

+

**FALTA DE ELEMENTOS DE PROTECCIÓN AL AVANCE
(PARAGUAS, SOSTENIEMNTOS RÍGIDOS, ETC)**

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MECÁNICA DE ROCAS
JORNADA TÉCNICA SOBRE TÚNELES EN CONDICIONES DIFÍCILES

CRITERIOS DE DISEÑO HABITUALES

CRITERIOS MEDIOAMBIENTALES Y PAISAJÍSTICOS



RESTITUCIÓN DE LA MORFOLOGÍA ORIGINAL DEL TERRENO
(influye poco en la decisión del punto de emboquille)



EMPLEO DE TÚNELES ARTIFICIALES ARMADOS

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MECÁNICA DE ROCAS
JORNADA TÉCNICA SOBRE TÚNELES EN CONDICIONES DIFÍCILES

CRITERIOS DE DISEÑO HABITUALES

CRITERIOS ECONÓMICOS



COMPARACIÓN ÚNICAMENTE EN FASE DE CONSTRUCCIÓN
Túnel en mina ⇔ Excavación + túnel artificial



EL COSTE NO INCLUYE LAS NECESIDADES EN FASE DE EXPLOTACIÓN
NO SE PUEDE VALORAR EL IMPREVISTO CON SEGURIDAD

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MECÁNICA DE ROCAS

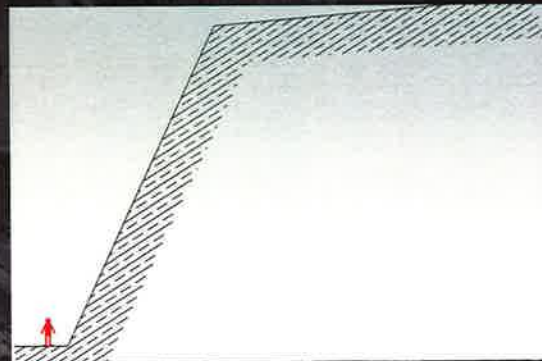
JORNADA TÉCNICA SOBRE TÚNELES EN CONDICIONES DIFÍCILES

REFLEXIONES CRITERIOS HABITUALES

1-1,5 DIÁMETROS DE ROCA SANA SOBRE CLAVE

IMPLICA ADOPTAR TALUDES DE AL MENOS 25 METROS

**SOLUCIONES
COSTOSAS PARA
APROXIMACIÓN A LA
BOCA
(muros, anclajes, etc)**



**CON GEOMETRÍAS
DISIMÉTRICAS SE COMPLICA
LA RESTITUCIÓN DE LAS
LADERAS**

**EN LADERAS ESCARPADAS
GENERAN SOLUCIONES
AGRESIVAS PARA SU
ESTABILIDAD GLOBAL**

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MECÁNICA DE ROCAS
JORNADA TÉCNICA SOBRE TÚNELES EN CONDICIONES DIFÍCILES

REFLEXIONES CRITERIOS HABITUALES

**TRAZADOS PERPENDICULARES A LÍNEAS DE NIVEL, BÚSQUEDA DE
CONDICIONES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS FAVORABLES, ETC.
CRITERIOS HABITUALES => MAYOR PESO EN FASES INICIALES**

**ALTURAS DE EMBOQUILLE MODERADAS
(5 METROS SOBRE CLAVE APROX.)**



CONDICIONES GEOTÉCNICAS FAVORABLES

**POSIBILIDAD DE SOSTENIMIENTOS LIGEROS
MEJORA DE LA COMPARATIVA:
TÚNEL ARTIFICIAL ⇔ TÚNEL EN MINA**



CONDICIONES GEOTÉCNICAS DESFAVORABLES

**AUMENTA PROBABILIDAD DE IMPREVISTO
COMPLICA RETRANQUEOS POSTERIORES**



SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MECÁNICA DE ROCAS
JORNADA TÉCNICA SOBRE TÚNELES EN CONDICIONES DIFÍCILES

REFLEXIONES CRITERIOS HABITUALES

APROVECHAR EL EMPLEO DE SOSTENIMIENTOS PESADOS, PROTECCIÓN DEL PASE Y REFUERZO DEL FRENTE

LADERAS INESTABLES O GEOMETRÍAS DESFAVORABLES



SOLUCIONES CONVENCIONALES

MUROS ANCLADOS DE "ESCAMAS"
PANTALLAS ANCLADAS (PILOTES,
MICROPILOTES...), ETC

SOLUCIONES ALTERNATIVAS EN MINA

SOSTENIMIENTOS PESADOS
TÚNEL "TORTUGA"
GENERACIÓN DE MONTERA ARTIFICIAL

**ACTUACIONES DEFINITIVAS CON LA MENOR NECESIDAD DE MANTENIMIENTO
GENERAR LAS MENORES SERVIDUMBRES POSIBLES**



SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MECÁNICA DE ROCAS
JORNADA TÉCNICA SOBRE TÚNELES EN CONDICIONES DIFÍCILES

REFLEXIONES CRITERIOS HABITUALES

CONTRASTE CON TÚNELES EN SERVICIO
(LÍNEAS FERROVIARIAS ANTIGUAS)



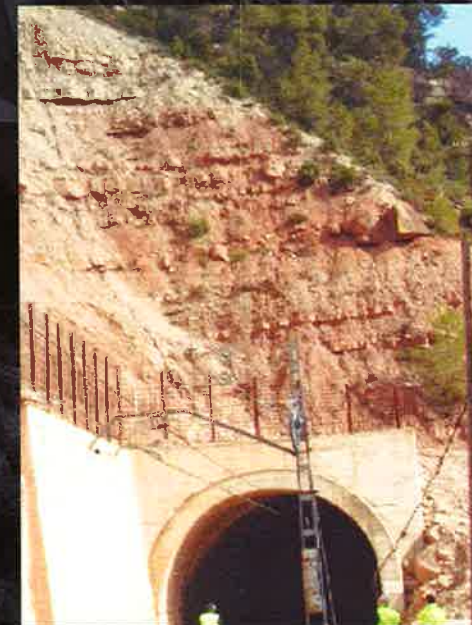
EN LA ACTUALIDAD TÚNEL ARTIFICIAL O PASO EN MINA



SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MECÁNICA DE ROCAS
JORNADA TÉCNICA SOBRE TÚNELES EN CONDICIONES DIFÍCILES

REFLEXIONES CRITERIOS HABITUALES

CONTRASTE CON TÚNELES EN SERVICIO
(LÍNEAS FERROVIARIAS ANTIGUAS)



DISIMETRÍA MUY MARCADA
PROLONGACIÓN BOCA DE TÚNEL
OBRAS DE PROTECCIÓN LATERALES

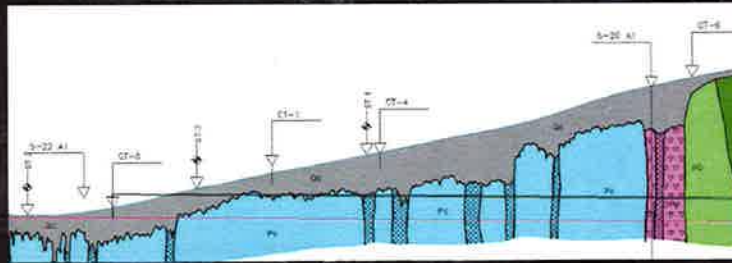


SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MECÁNICA DE ROCAS

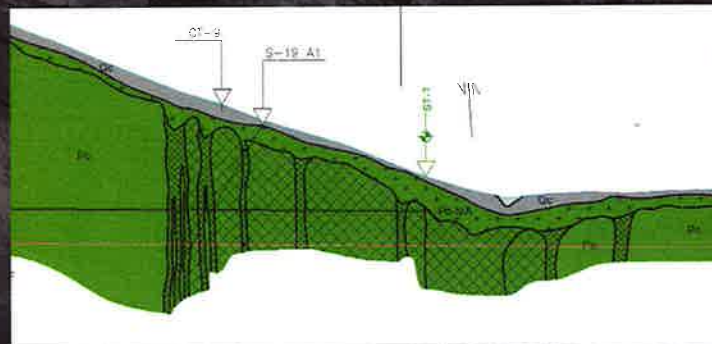
JORNADA TÉCNICA SOBRE TÚNELES EN CONDICIONES DIFÍCILES

DISEÑOS RECIENTES

EMBOQUILLES CON DISIMETRÍAS ACUSADAS Y CONDICIONES GEOTÉCNICAS DESFAVORABLES



EMBOQUILLE DE CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DESFAVORABLES

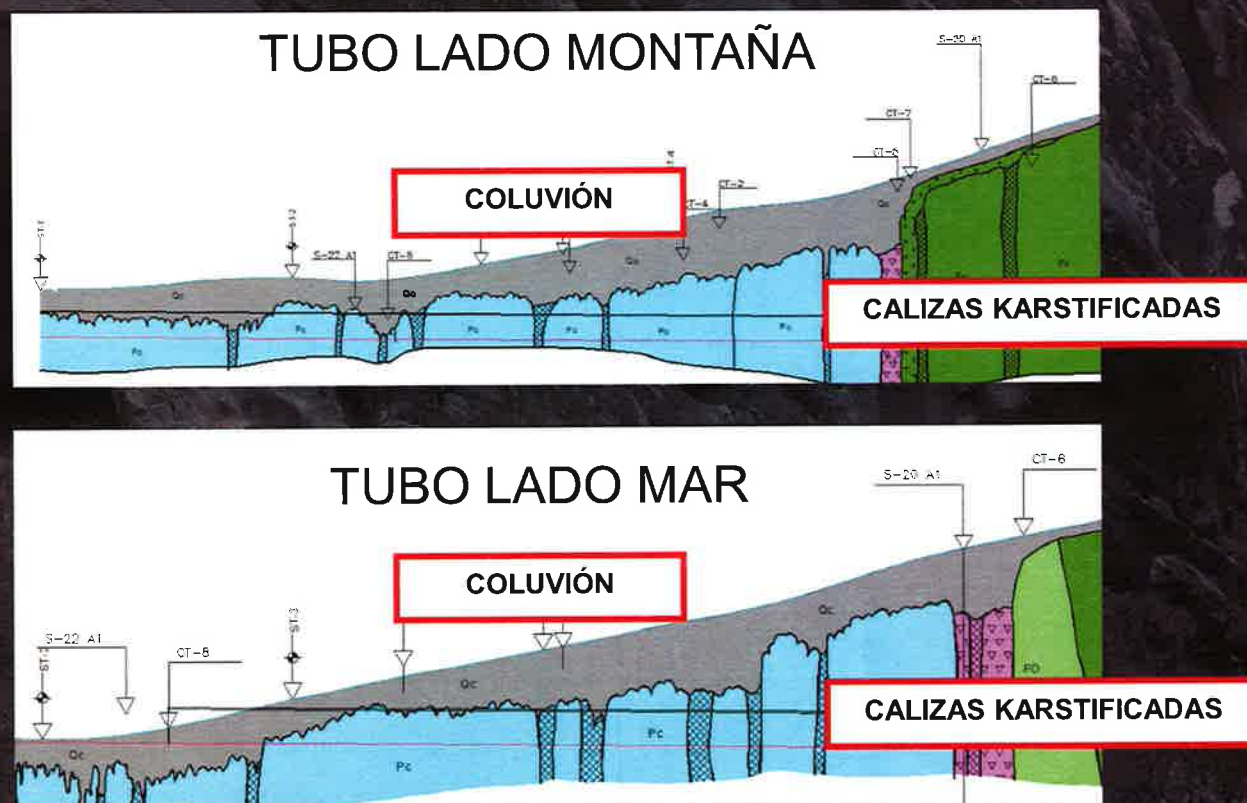


SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MECÁNICA DE ROCAS

JORNADA TÉCNICA SOBRE TÚNELES EN CONDICIONES DIFÍCILES

DISIMETRÍAS ACUSADAS

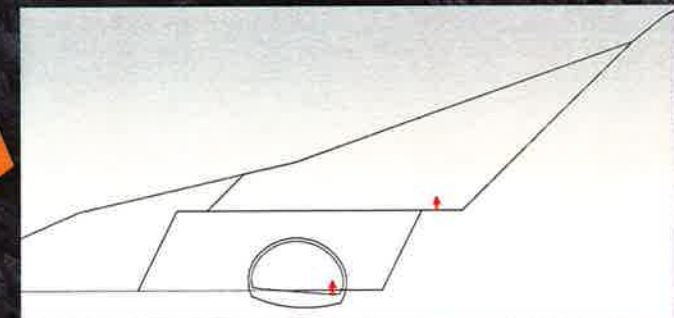
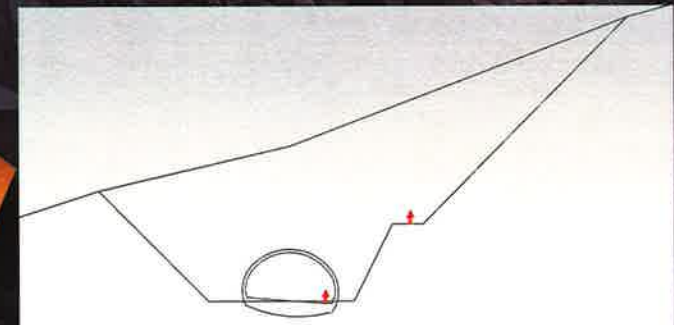
PLANTEAMIENTO GENERAL DEL PROBLEMA (GEOLOGÍA)



SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MECÁNICA DE ROCAS
JORNADA TÉCNICA SOBRE TÚNELES EN CONDICIONES DIFÍCILES

DISIMETRÍAS ACUSADAS

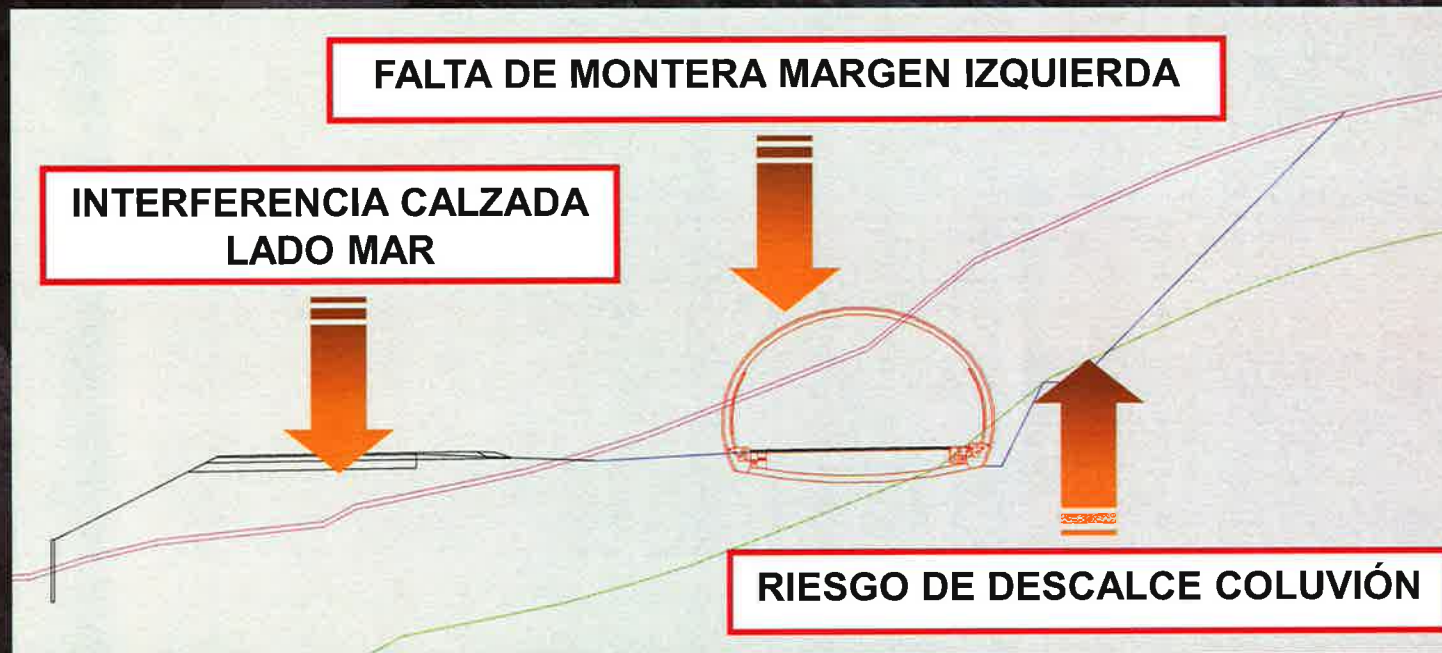
PLANTEAMIENTO GENERAL DEL PROBLEMA (GEOMETRÍA)



SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MECÁNICA DE ROCAS
JORNADA TÉCNICA SOBRE TÚNELES EN CONDICIONES DIFÍCILES

DISIMETRÍAS ACUSADAS

ANÁLISIS DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL



**UNA SOLUCIÓN DE TUNEL EN MINA O DE TÚNEL ARTIFICIAL
RESULTA INVIABLE EN ESTAS CONDICIONES**

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MECÁNICA DE ROCAS
JORNADA TÉCNICA SOBRE TÚNELES EN CONDICIONES DIFÍCILES

DISIMETRÍAS ACUSADAS

ALTERNATIVAS
MURO ANCLADO DE ESCAMAS



SOLUCIÓN NO CONVENCIONAL EN MINA:
GENERACIÓN DE TERRENO ARTIFICIALMENTE

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MECÁNICA DE ROCAS
JORNADA TÉCNICA SOBRE TÚNELES EN CONDICIONES DIFÍCILES

DISIMETRÍAS ACUSADAS

ALTERNATIVA ESCOGIDA **GENERACIÓN DE TERRENO ARTIFICIAL**

TERRENO ARTIFICIAL. LA SOLUCIÓN AFECTA MENOS AL COLUVIÓN

MURO ANCLADO. COSTE DE CONSTRUCCIÓN LIGERAMENTE MENOR
COSTE DE MANTENIMIENTO MUY SUPERIOR

MURO ANCLADO. SERVIDUMBRE DURANTE TODA LA VIDA DE LA OBRA

TERRENO ARTIFICIAL. SOLUCIÓN A PRIORI MÁS RÁPIDA



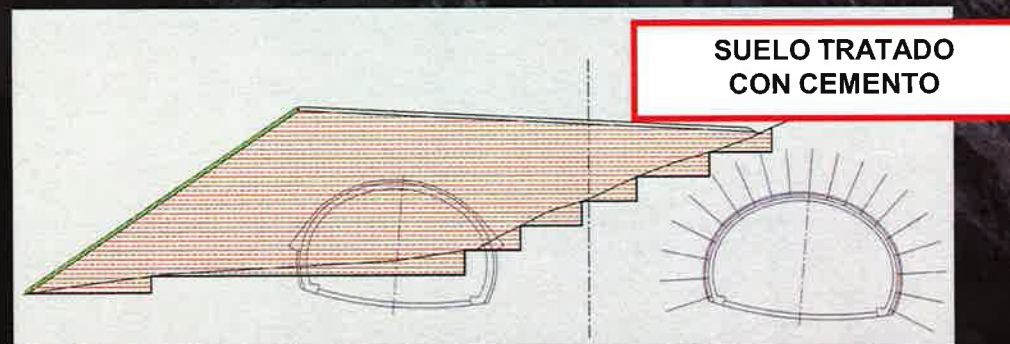
SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MECÁNICA DE ROCAS

JORNADA TÉCNICA SOBRE TÚNELES EN CONDICIONES DIFÍCILES

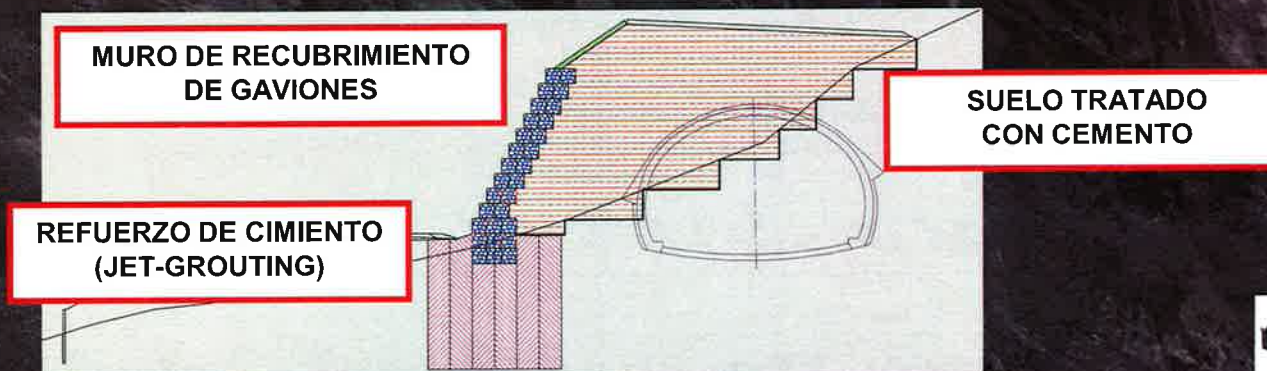
DISIMETRÍAS ACUSADAS

GEOMETRÍA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

TUBO LADO MAR



TUBO LADO MONTAÑA



SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MECÁNICA DE ROCAS
JORNADA TÉCNICA SOBRE TÚNELES EN CONDICIONES DIFÍCILES

DISIMETRÍAS ACUSADAS

CARACTERIZACIÓN DEL TERRENO ARTIFICIAL (I)

MACIZO DE ROCA “BLANDA”



PARÁMETROS BÁSICOS DEL MACIZO

COMPRESIÓN SIMPLE DE LA ROCA MATRIZ

FRACTURACIÓN ($RMR_{básico}$)

PARÁMETRO m_i (LEY NO LINEAL)

MÓDULO DE DEFORMACIÓN ROCA INTACTA

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MECÁNICA DE ROCAS

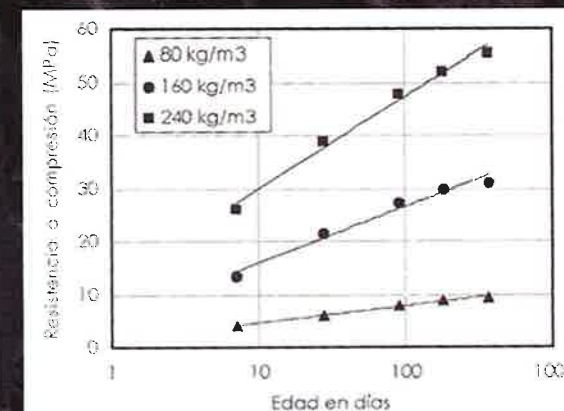
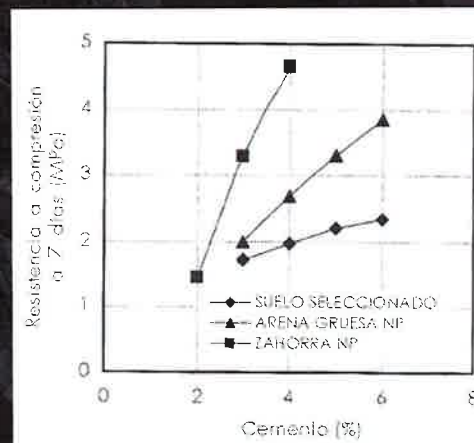
JORNADA TÉCNICA SOBRE TÚNELES EN CONDICIONES DIFÍCILES

DISIMETRÍAS ACUSADAS

CARACTERIZACIÓN DEL TERRENO ARTIFICIAL (II)

RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE ROCA MATRIZ (Manual de firmes con capas tratadas con cemento, CEDEX)

MATERIAL	RESISTENCIA COMPRESIÓN (MPa)
Suelocemento	4 – 8
Gravacemento	8 – 14
Gravacemento de alta resistencia	14 – 22
Hormigón magro compactado	22 – 35
Hormigón compactado	35 - 45



RESISTENCIA ADOPTADA 3 MPa

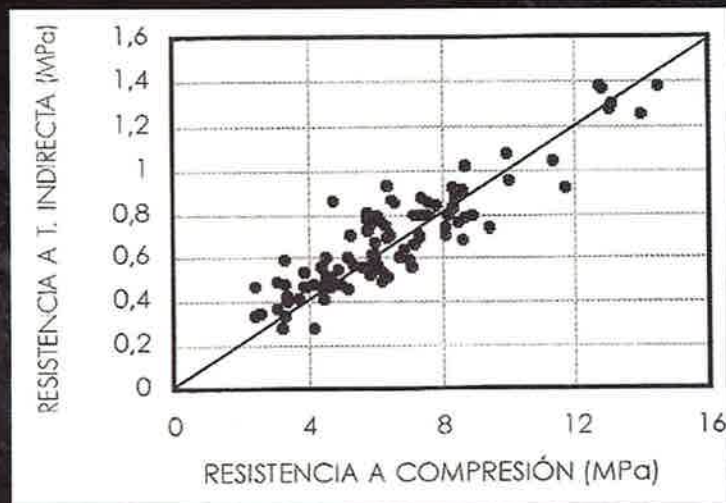
SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MECÁNICA DE ROCAS

JORNADA TÉCNICA SOBRE TÚNELES EN CONDICIONES DIFÍCILES

DISIMETRÍAS ACUSADAS

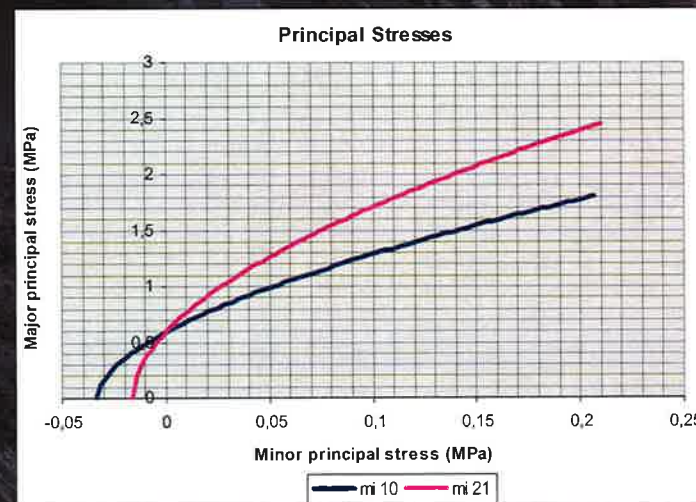
CARACTERIZACIÓN DEL TERRENOL ARTIFICIAL (III)

PARÁMETRO m_i (Manual de firmes con capas tratadas con cemento, CEDEX)



$m_i = 10 \Rightarrow$ CALIZAS

$m_i = 21 \Rightarrow$ CONGLOMERADOS



PARÁMETRO m_i ADOPTADO 10
(mayor resistencia a tracción, menor resistencia global de macizo)

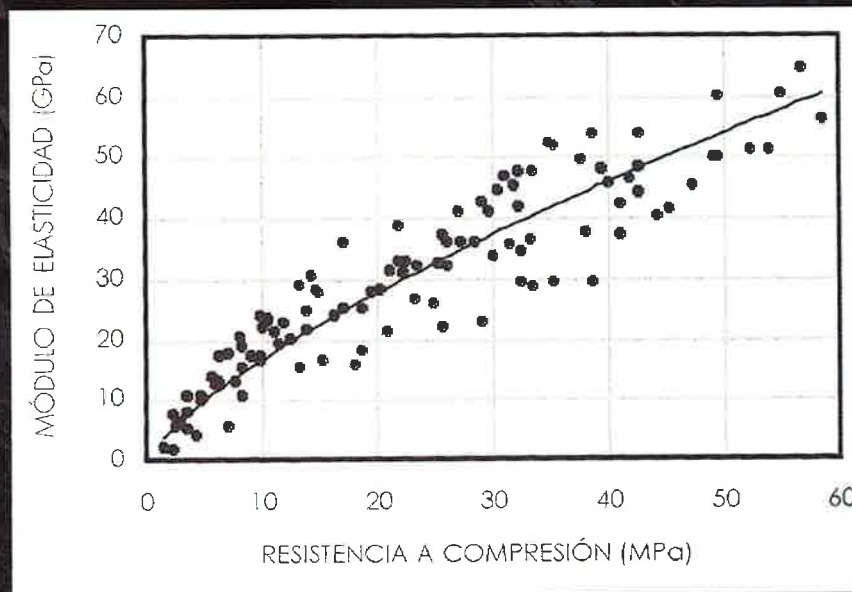
SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MECÁNICA DE ROCAS

JORNADA TÉCNICA SOBRE TÚNELES EN CONDICIONES DIFÍCILES

DISIMETRÍAS ACUSADAS

CARACTERIZACIÓN DEL TERRENO ARTIFICIAL (IV)

MÓDULO DE DEFORMACIÓN ROCA MATRIZ / MACIZO
(Manual de firmes con capas tratadas con cemento, CEDEX)



$E_i = 3-5 \text{ GPa}$



$E_m = 1 \text{ GPa}$

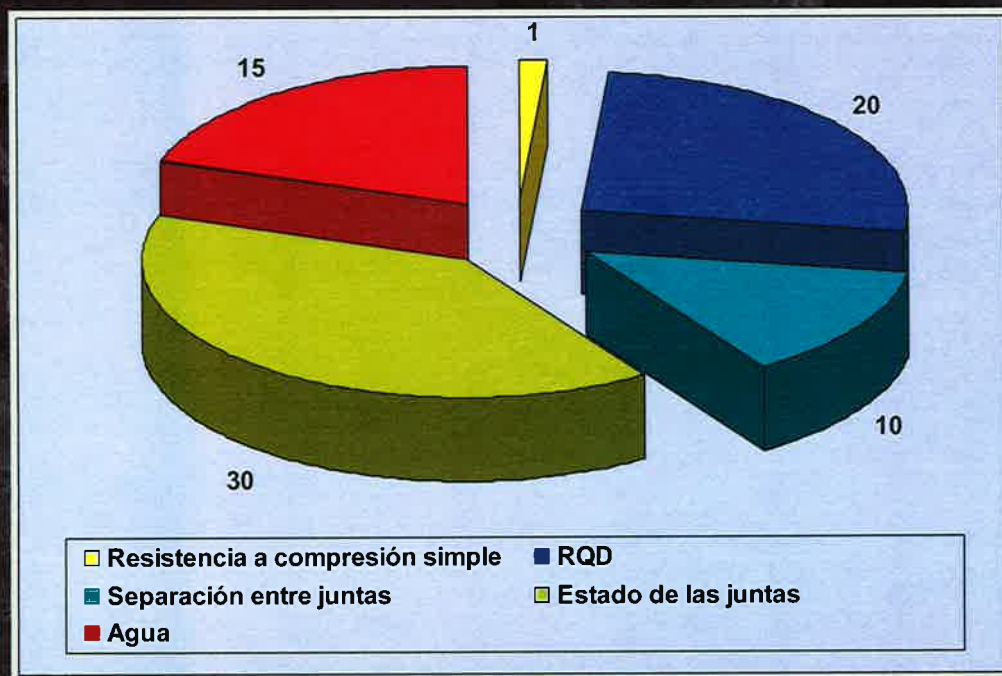
SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MECÁNICA DE ROCAS

JORNADA TÉCNICA SOBRE TÚNELES EN CONDICIONES DIFÍCILES

DISIMETRÍAS ACUSADAS

CARACTERIZACIÓN DEL TERRENO ARTIFICIAL (V)

ESTADO DE FRACTURACIÓN ($RMR_{básico}$)



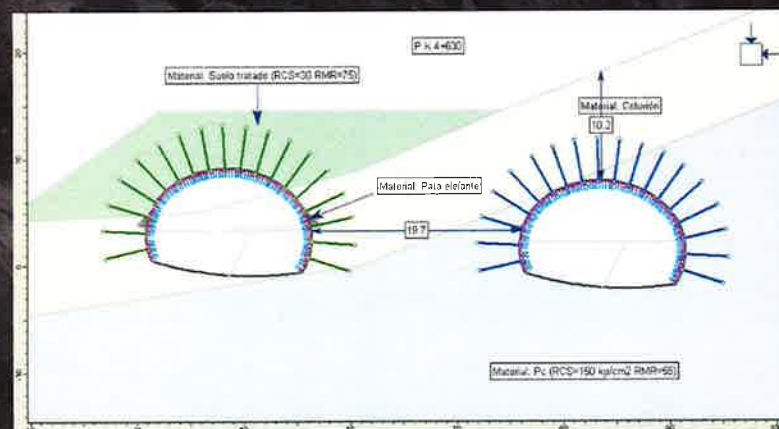
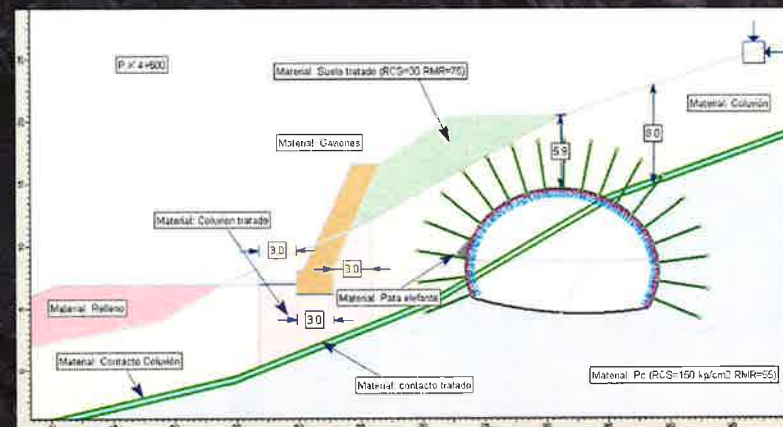
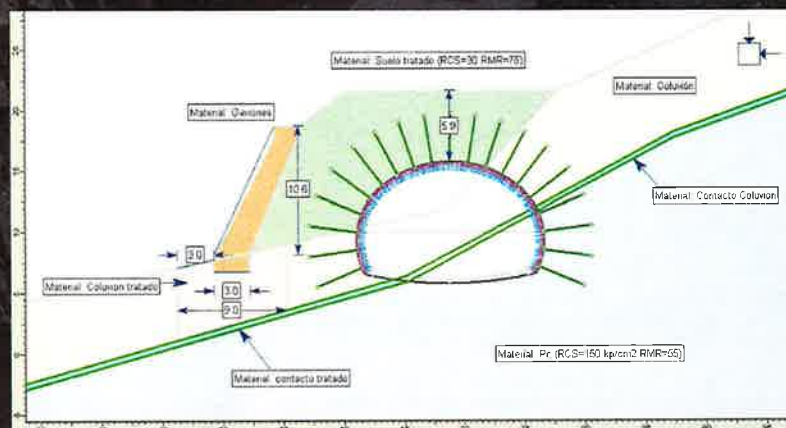
$RMR_{básico} = 76$

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MECÁNICA DE ROCAS

JORNADA TÉCNICA SOBRE TÚNELES EN CONDICIONES DIFÍCILES

DISIMETRÍAS ACUSADAS

MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS (I)

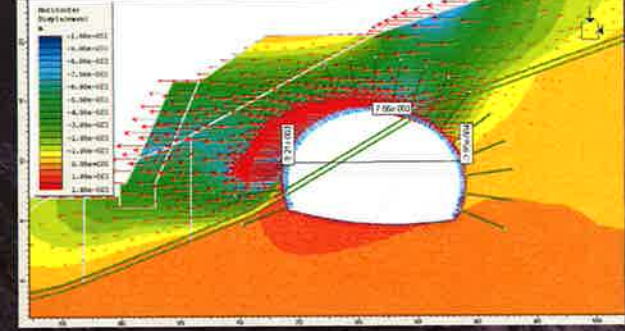
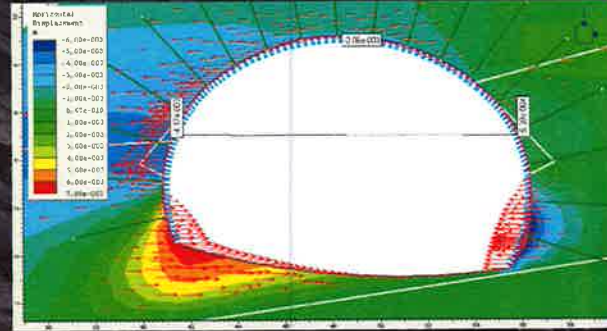
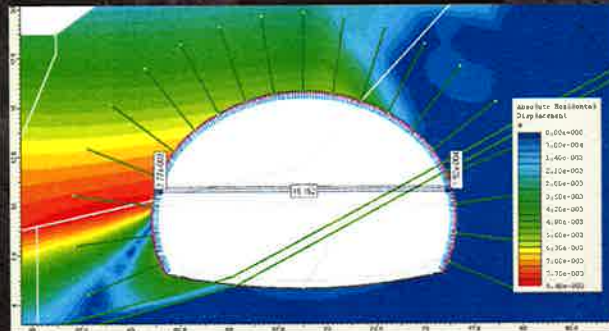
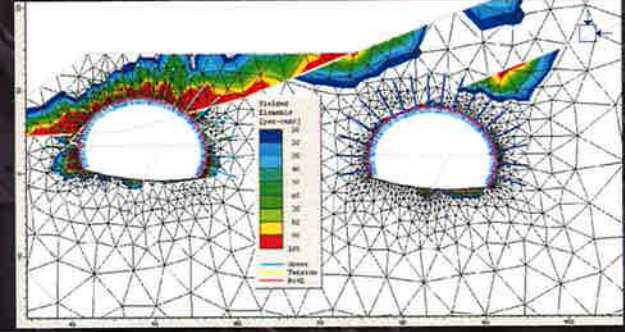
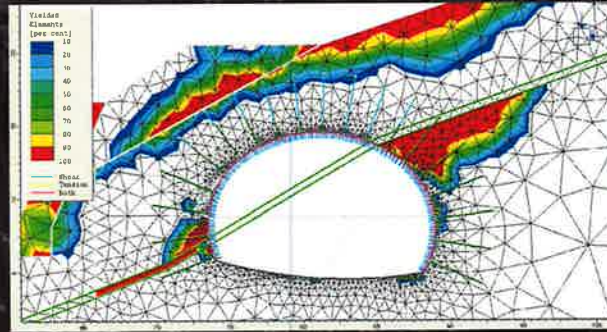
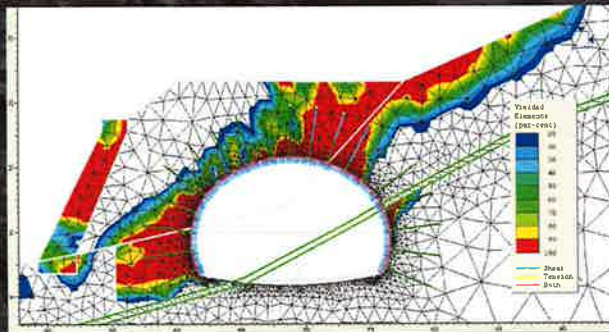


SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MECÁNICA DE ROCAS

JORNADA TÉCNICA SOBRE TÚNELES EN CONDICIONES DIFÍCILES

DISIMETRÍAS ACUSADAS

MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS (II)



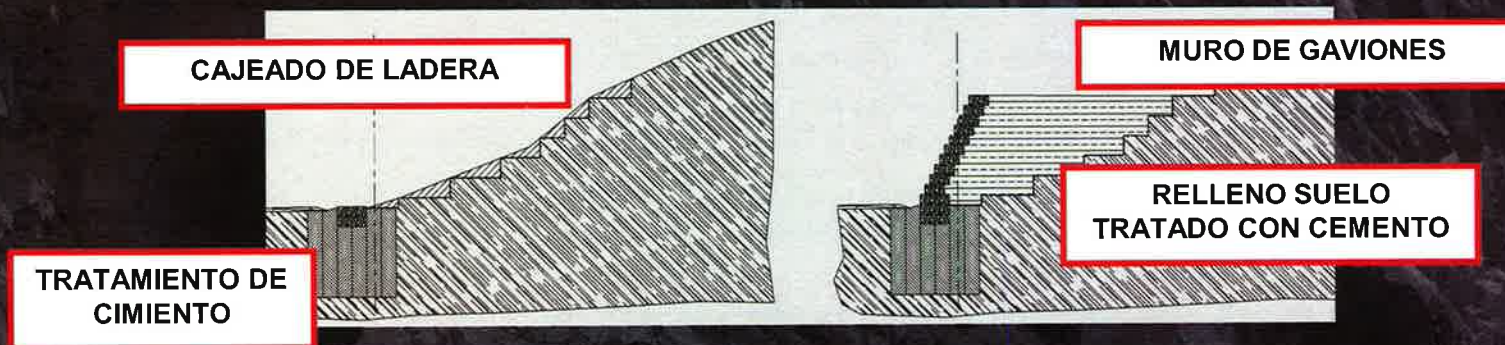
SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MECÁNICA DE ROCAS

JORNADA TÉCNICA SOBRE TÚNELES EN CONDICIONES DIFÍCILES

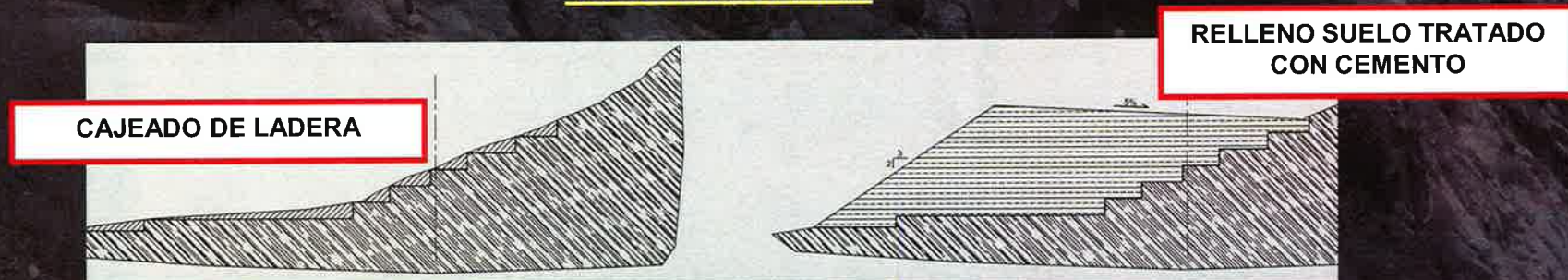
DISIMETRÍAS ACUSADAS

PROCESO CONSTRUCTIVO (I)

TUBO LADO MONTAÑA



TUBO LADO MAR



SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MECÁNICA DE ROCAS

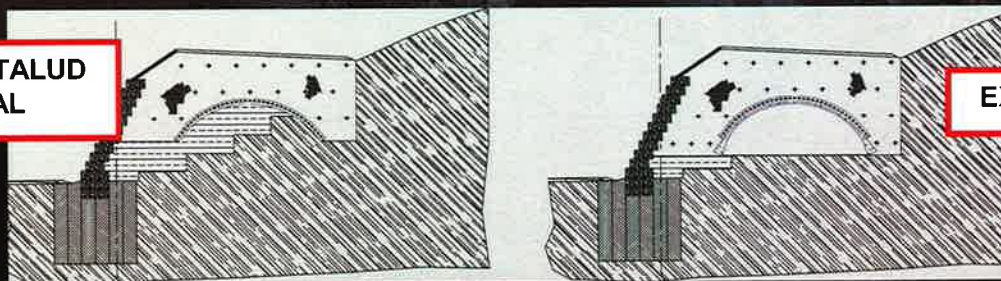
JORNADA TÉCNICA SOBRE TÚNELES EN CONDICIONES DIFÍCILES

DISIMETRÍAS ACUSADAS

PROCESO CONSTRUCTIVO (II)

TUBO LADO MONTAÑA

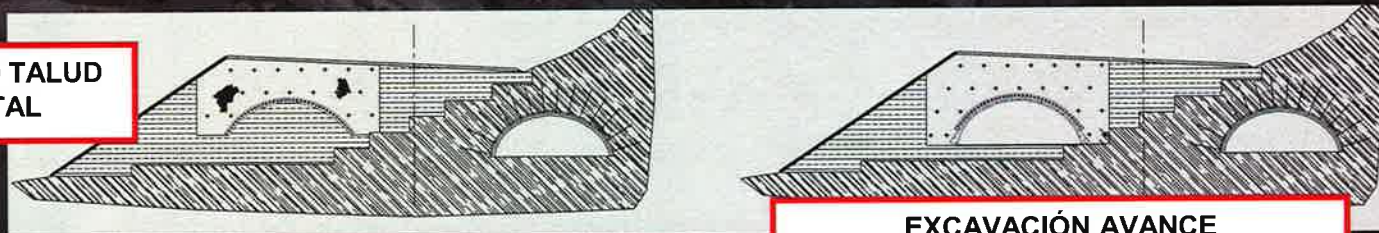
REFUERZO TALUD
FRONTAL



EXCAVACIÓN AVANCE

TUBO LADO MAR

REFUERZO TALUD
FRONTAL



EXCAVACIÓN AVANCE
POSTERIOR A TUBO LADO MONTAÑA

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MECÁNICA DE ROCAS

JORNADA TÉCNICA SOBRE TÚNELES EN CONDICIONES DIFÍCILES

DISIMETRÍAS ACUSADAS

PROCESO CONSTRUCTIVO (III)

TUBO LADO MONTAÑA



TUBO LADO MAR

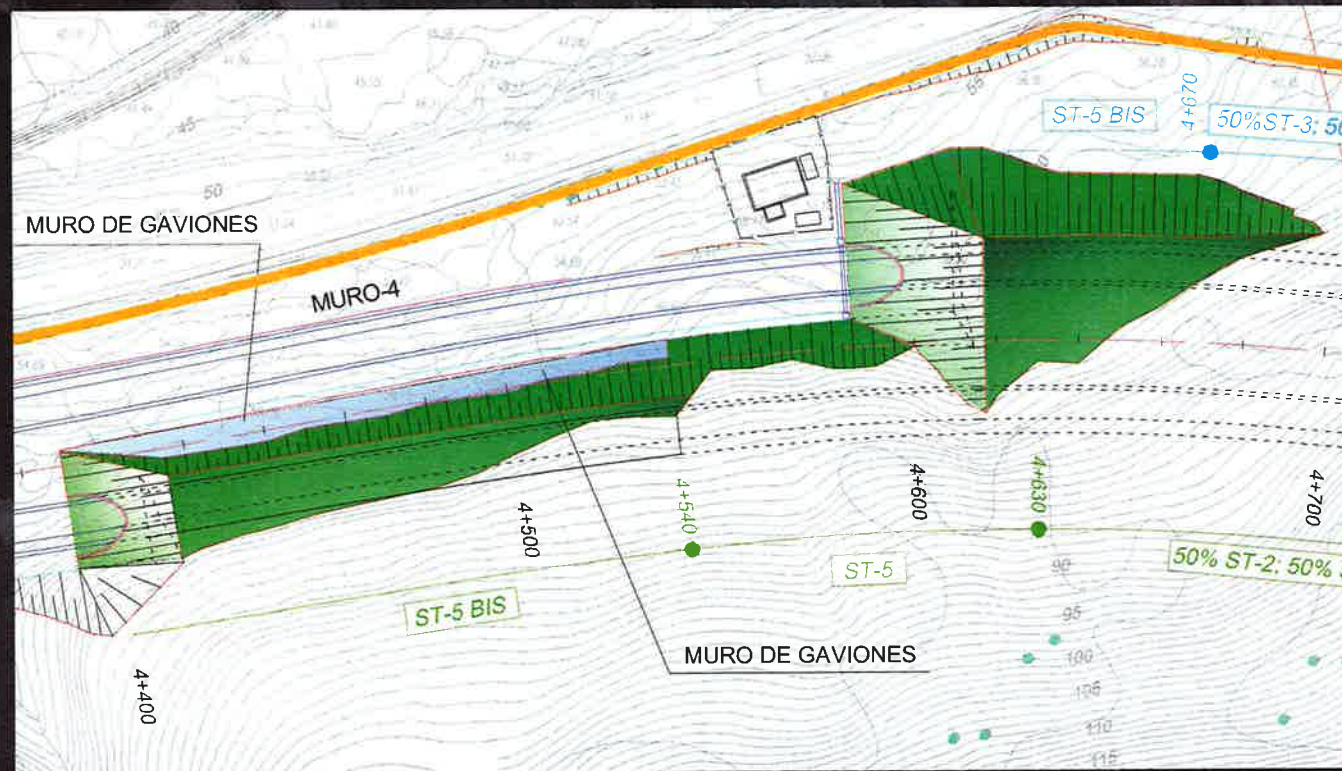


SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MECÁNICA DE ROCAS

JORNADA TÉCNICA SOBRE TÚNELES EN CONDICIONES DIFÍCILES

DISIMETRÍAS ACUSADAS

SITUACIÓN FINAL DEL TRATAMIENTO



SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MECÁNICA DE ROCAS

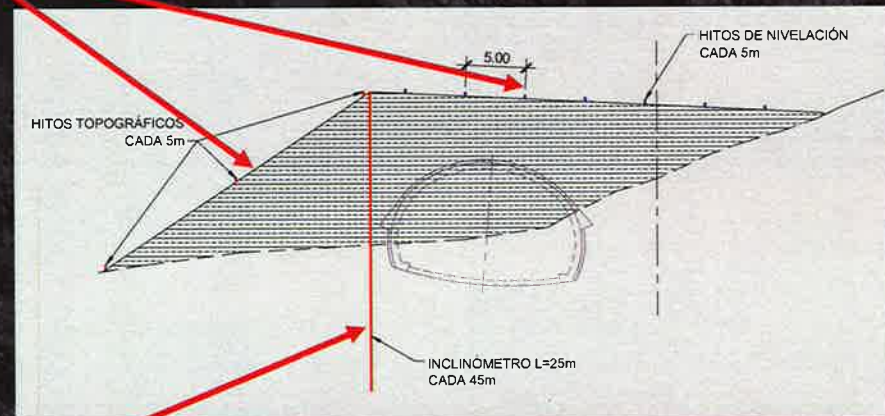
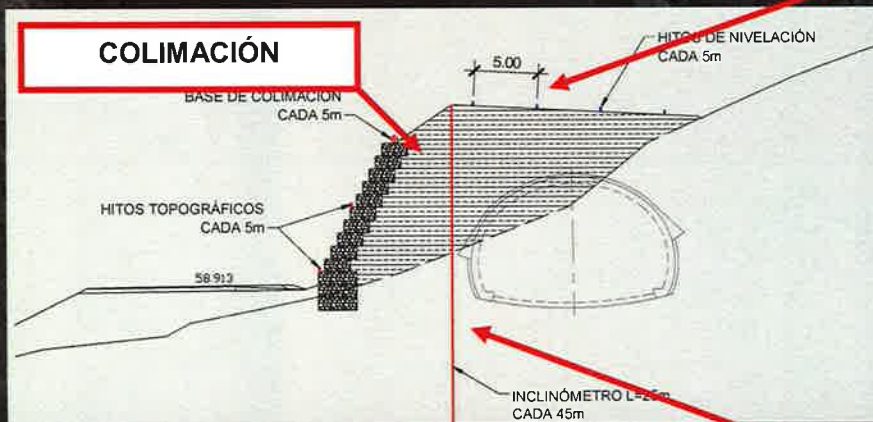
JORNADA TÉCNICA SOBRE TÚNELES EN CONDICIONES DIFÍCILES

DISIMETRÍAS ACUSADAS

AUSCULTACIÓN EXTERIOR

CONTROL TOPOGRÁFICO

COLIMACIÓN

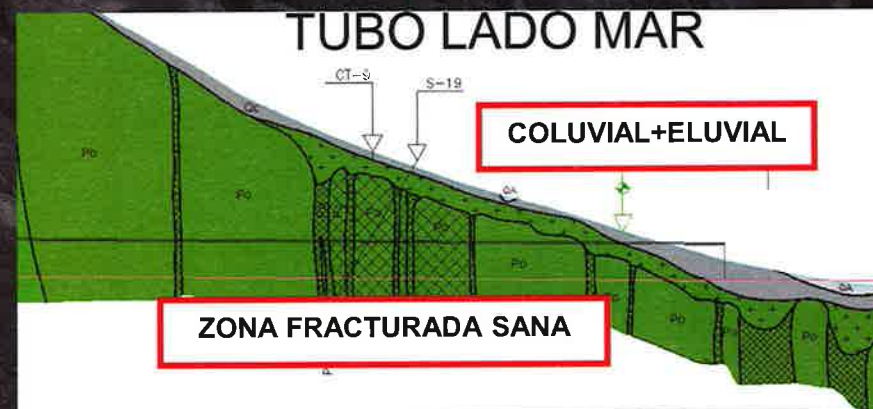
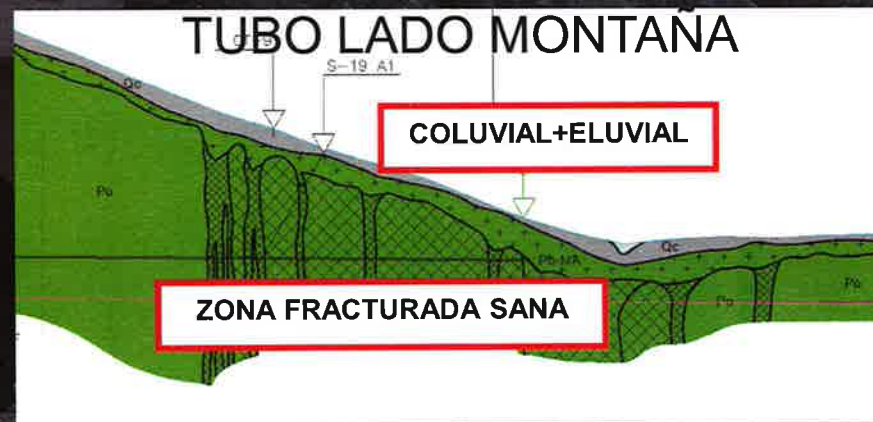


INCLINÓMETROS

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MECÁNICA DE ROCAS
JORNADA TÉCNICA SOBRE TÚNELES EN CONDICIONES DIFÍCILES

EMBOQUILLE CON GEOLOGÍA DESFAVORABLE

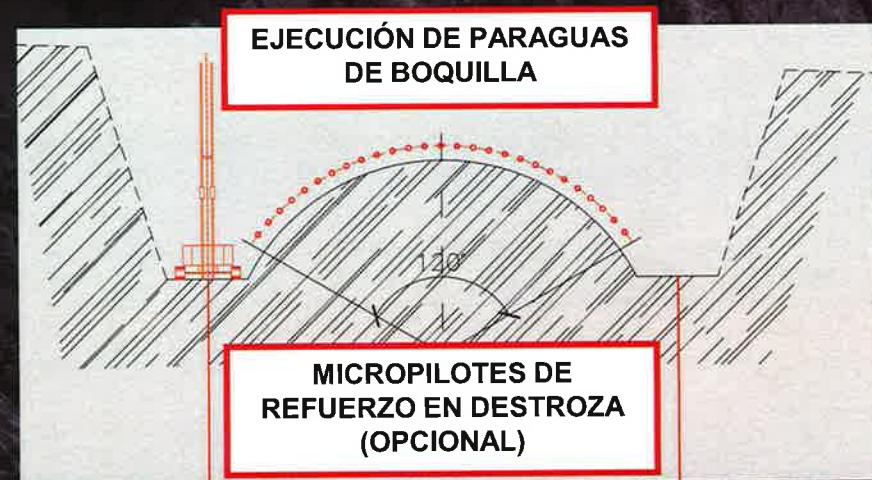
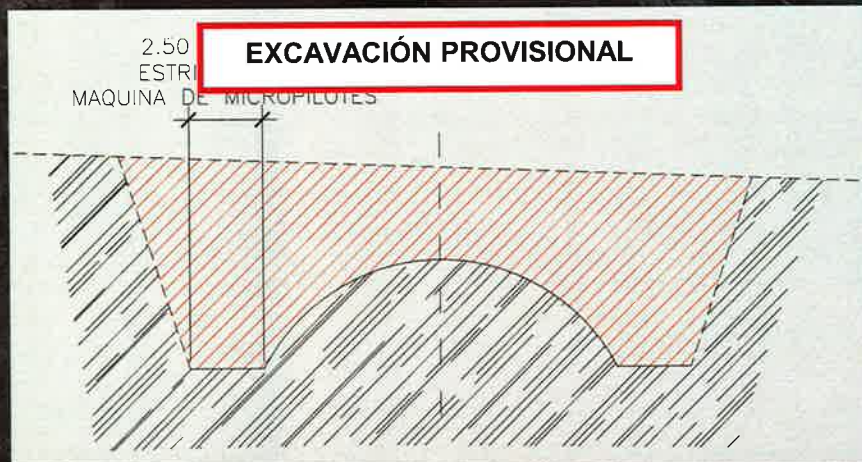
PERFIL GEOLÓGICO DE LA LADERA



SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MECÁNICA DE ROCAS
JORNADA TÉCNICA SOBRE TÚNELES EN CONDICIONES DIFÍCILES

EMBOQUILLE CON GEOLOGÍA DESFAVORABLE

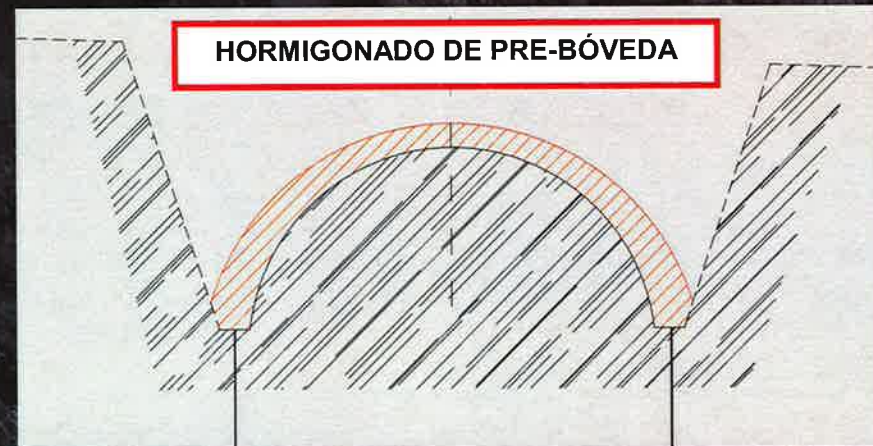
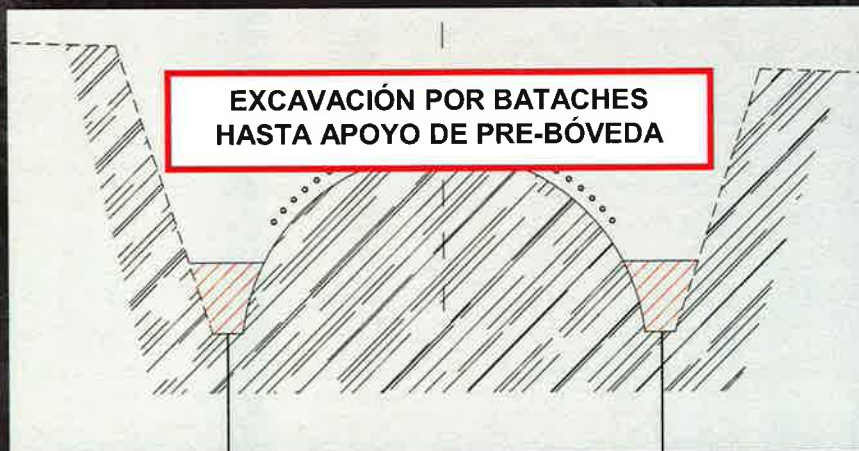
SOLUCIÓN PLANTEADA. TÚNEL “TORTUGA” (I)



SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MECÁNICA DE ROCAS
JORNADA TÉCNICA SOBRE TÚNELES EN CONDICIONES DIFÍCILES

EMBOQUILLE CON GEOLOGÍA DESFAVORABLE

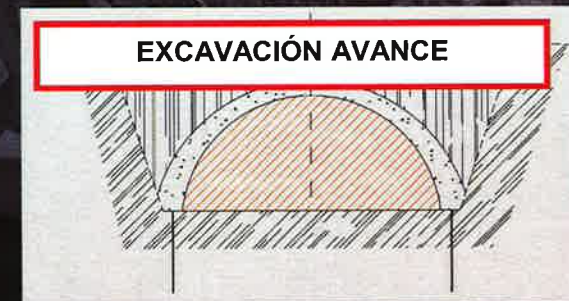
SOLUCIÓN PLANTEADA. TÚNEL “TORTUGA” (II)



SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MECÁNICA DE ROCAS
JORNADA TÉCNICA SOBRE TÚNELES EN CONDICIONES DIFÍCILES

EMBOQUILLE CON GEOLOGÍA DESFAVORABLE

SOLUCIÓN PLANTEADA. TÚNEL “TORTUGA” (III)



SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MECÁNICA DE ROCAS
JORNADA TÉCNICA SOBRE TÚNELES EN CONDICIONES DIFÍCILES

EMBOQUILLE CON GEOLOGÍA DESFAVORABLE

SOLUCIÓN PLANTEADA. TÚNEL “TORTUGA” (IV) **ADAPTACIÓN DEL MÉTODO A LA GEOMETRÍA DE PROYECTO**

